2322

ENZO BONAVENTURA

LE QUALITÀ DEL MONDO FISICO

STUDI DI FILOSOFIA NATURALE

FIRENZE
TIPOGRAFIA GALLETTI E COCCI
—
1916

INDICE

INTRODUZIONE . . . . . *Pag.* 1

PARTE PRIMA : **Le teorie fisiche** . . . . . » 27
I. - Svolgimento storico . . . . . » 27
II. - La materia e il movimento . . . . . » 52
III. - La forza . . . . . » 77
IV. - Le forme dell'energia . . . . . » 93
V. - La dottrina energetica e la fisica delle qualità . » 148

PARTE SECONDA : **Le teorie chimiche** . . . . . » 169
I. - Gli elementi . . . . . » 169
II. - Le combinazioni . . . . . » 180
III. - Gli stati della materia . . . . . » 193
IV. - Le ipotesi dinamistiche . . . . . » 206
V. - La chimica delle qualità . . . . . » 223

PARTE TERZA : **Le teorie fisiologiche** . . . . . » 235
I. - Il principio delle energie specifiche nervose : svolgimento storico e conseguenze filosofiche . . . » 235
II. - Critica del principio delle energie nervose specifiche » 258
III. - Il principio dell'indifferenza funzionale . . . . » 274
IV. - I confini della fisiologia e le funzioni spirituali . . » 285

CONCLUSIONE . . . . . » 295

INTRODUZIONE

Uno dei compiti principali della riflessione critica sui dati dell'esperienza è quello di spiegare l'origine di quella molteplicità di qualità sensoriali che costituisce il mondo delle nostre rappresentazioni. Il problema, al cui esame è dedicato il presente lavoro, e che forma senza dubbio uno dei punti centrali della filosofia, può essere brevemente formulato così: le differenze che noi osserviamo tra le qualità sensoriali hanno una ragion d'essere in differenze qualitative tra gli agenti esterni, oppure rappresentano soltanto la maniera in cui agenti esterni qualitativamente omogenei appariscono al soggetto cosciente? e, se gli agenti esterni sono di natura omogenea, in quali condizioni devono trovarsi per poter dare origine a qualità sensoriali differenti?

La scienza moderna ha tentato in due modi di risolvere nella seconda delle accennate direzioni il problema dell'origine delle differenze qualitative. Dapprima è stata la concezione meccanica della natura, che, sorta agli albori della filosofia greca, rinnovata e sistemata dai grandi filosofi e scienziati del secolo XVII ed accresciuta nel seguito col contributo d'innumerevoli ricerche scientifiche, ha mirato a spiegare l'origine delle differenze qualitative derivandole da differenze quantitative di una realtà essenzialmente omogenea; arrestando l'analisi dei dati dell'esperienza ai due elementi irriducibili di massa e movimento, la concezione meccanica ha creduto di potere ricostruire con questi elementi misurabili tutti i fenomeni della natura. Il sorgere e lo svilupparsi della scienza moderna coincide col rinnovamento della concezione mecca-

nica, il valore storico della quale nel campo scientifico deve pure essere riconosciuto. Importa tuttavia tenere fin d'ora presente che altro è il meccanicismo come metodo di ricerca, consistente nel considerare il mondo fenomenico come dominato da un rigido determinismo e costituente un'unità, altro è la concezione meccanica come ipotesi metafisica sulla natura propria della realtà esterna; la differenza tra l'uno e l'altra va tenuta presente, perchè non si può escludere che una scienza deterministica possa accordarsi anche con una metafisica non meccanicistica, tanto è vero che presso i modernissimi scienziati che hanno respinto la metafisica meccanicistica, il meccanicismo è conservato come metodo nelle ricerche e come guida nella sistemazione delle conoscenze scientifiche. Del valore e del significato del meccanicismo da questo punto di vista non è nostro scopo occuparci nel presente lavoro, giacchè un esame critico in tal senso ci condurrebbe troppo lontani dal compito nostro principale; noi limiteremo il nostro studio alla concezione meccanica della natura considerata come ipotesi esplicativa dell'origine delle differenze qualitative, sperando che tale ricerca rechi qualche contributo a quella riflessione sui risultati della scienza che è uno dei meriti maggiori del movimento filosofico contemporaneo

Nel campo della fisiologia e della psicologia si è svolta una teoria che, pur partendo da principî autonomi, finiva col convergere colla concezione meccanica hello scopo di eliminare dalla realtà esterna le differenze qualitative: la teoria delle energie nervose specifiche, la quale, ponendo nella particolare e differenziata struttura del sistema nervoso l'origine delle differenze nelle qualità sensoriali, apriva la via alla concezione di una realtà omogenea in un senso ancor più radicale di quel che la concepiva il meccanicismo, giacchè mentre il meccanicismo mirava a ridurre tutte le differenze qualitative a differenze quantitative, la teoria delle energie nervose specifiche mirava a dimostrare come stimoli perfettamente identici possano dare origine a qualità sensoriali differenti purchè si trovino ad agire su parti specificate del sistema nervoso. Questa teoria, formatasi e sviluppatasi soltanto nel corso del secolo XIX in seguito a ricerche sperimentali accurate, non ha certo l'importanza storica e neppure la fecondità che, in altro ramo delle scienze naturali, ha la concezione meccanica; ma dal punto di vista filosofico merita accurato esame per le im-

portanti conseguenze a cui conduce. Essa venne recentemente estesa sì da assumere il significato d'interpretazione generale dei fenomeni vitali e psichici; ma noi dovremo limitare la nostra ricerca al valore che questa teoria può avere e ai limiti della sua applicabilità in ordine al problema dell'origine delle differenze qualitative.

Il presente lavoro, fermandosi anzitutto a indagare le condizioni fisiche dell'origine delle differenze qualitative, discuterà nella prima parte le diverse teorie fisiche e nella seconda le teorie chimiche inspirate alla concezione meccanica della natura, indicandone lo sviluppo storico e sottoponendole quindi a critica per vedere se e fino a che punto riescano ad illuminarci per la soluzione del nostro problema; nella terza parte, cercando le condizioni fisiologiche dell'origine delle differenze qualitative, esaminerà le due opposte teorie delle energie nervose specifiche e dell'indifferenza funzionale. Raccogliendo in queste analisi larga messe di dati, si cercherà in ultimo di accennare a quelle ipotesi sulla natura della realtà a cui sembrano guidarci i risultati più sicuri delle moderne indagini scientifiche.

Ma prima d'iniziare l'analisi delle teorie fisiche, chimiche e fisiologiche, è opportuno determinar bene il concetto stesso di qualità e tratteggiarne le note più salienti, e discutere quindi quelle dottrine filosofiche che mirano ad eliminare il problema dell'origine delle differenze qualitative.

Il concetto di qualità è uno di quei concetti supremi che non possono essere definiti e per chiarire i quali è necessario limitarsi ad indicare i caratteri che li distinguono dagli altri concetti. Già Aristotele osservava che la parola « qualità » è presa in diversi sensi e cercava di precisarne i principali significati. È bene che partiamo dai dati dell'esperienza per giungere a determinare questo concetto. Ogni dato dell'esperienza - un colore, un suono, un sentimento, una volizione ecc. ecc. - presenta un aspetto per cui si distingue da ogni altro, per cui è quello che è e non altro, un aspetto che lo individua: così noi distinguiamo un suono da un colore e da un sapore, distinguiamo il rosso dal verde, un suono acuto da uno basso, un sentimento di piacere da uno stato d'animo di tristezza, un'emozione di paura da una di ira, un desiderio da un atto di volontà, e così via; ora, ciò per cui distinguiamo l'uno dall'altro i dati dell'esperienza è appunto la qualità.

L'aspetto qualitativo è dunque essenziale in ogni contenuto dell'esperienza, è tale che non può esser tolto o modificato senza sopprimere il dato stesso. Questo primo e fondamentale carattere dell'inerenza della qualità al dato serve a stabilire una prima distinzione tra il concetto di qualità e il correlativo concetto di quantità: la quantità non è una proprietà inerente al dato, ma è rapporto, esprime un riferimento, operato dalla mente, di quel contenuto dell'esperienza ad un altro contenuto che viene assunto come unità di misura; considerare un contenuto dell'esperienza come una grandezza significa esprimere la relazione che passa tra esso e quello che si assume come unità di misura. Quindi, nel campo delle quantità, non si ha nulla che individui un contenuto dell'esperienza, giacchè variando l'unità di misura varia anche il rapporto, e quindi uno stesso contenuto dell'esperienza è suscettibile d'essere quantificato in infinite maniere (p. es. da un certo punto di vista può essere un'unità, da un altro una molteplicità, e questa molteplicità può assumere infiniti valori pur di variare infinitamente i termini di confronto), mentre uno stesso dato dell'esperienza non può essere qualificato che in una sola maniera (ciò che è rosso p. es. non può da un altro punto di vista essere verde od essere un suono o sim.). Mentre dunque le differenze qualitative sono inerenti ai contenuti dell'esperienza, le differenze quantitative hanno sempre del relativo ed in parte dell'arbitrario; d'onde segue che le prime pongono tra i contenuti dell'esperienza delle distinzioni ben più profonde e reali che le seconde.

Tale opposizione di caratteri si manifesta anche più chiaramente quando si pensi che ogni cangiamento nella quantità si può fare coll'aggiunta o colla soppressione di parti, che il « più » è raggiunto per mezzo dell'addizione dei « meno »; possiamo dire che considerare un contenuto dell'esperienza come una grandezza significa considerarlo come un multiplo dell'unità, e quindi poterlo ottenere per mezzo dell'aggiunzione di tante unità quante sono espresse dal rapporto tra la grandezza considerata e l'unità stessa, rapporto espresso dal numero. Da questo carattere si ricavano i fondamentali assiomi della matematica e le regole delle operazioni numeriche. Anche tra le qualità possiamo stabilire rapporti in parte analoghi a quelli stabiliti tra le grandezze: due qualità possono essere uguali, e due qualità uguali ad una terza sono uguali tra loro; oppure due qualità possono essere differenti, e si può indicare spesso

il grado maggiore o minore della differenza (p. es. il verde è più differente dal rosso che l'arancione; la differenza tra un *do* e un *re* è minore che quella tra un *do* e un *sol*, ecc.). Ma, date due qualità differenti, non è mai possibile ottenere l'una per mezzo dell'aggiunzione di più qualità uguali all'altra; quindi una qualità non si può mai considerare come una somma, un aggregato di parti, non può essere decomposta e ricomposta come una grandezza. Si potrebbe osservare che se la risoluzione in parti e l'aggiunzione dei « meno » per ottenere il « più » è impossibile quando si tratta di vere e proprie differenze qualitative, non è impossibile quando si tratta di differenze d'intensità di una stessa qualità; tanto è vero che le differenti intensità possono essere graduate, riferite ad un'unità di misura. Ma se è possibile, in molti casi, stabilire un parallelismo tra certe variazioni intensive e certe variazioni quantitative, come per es. quando si graduano le temperature in modo da formare la scala termometrica, rimane sempre vero che il « più intenso » non si può considerare come una somma di « meno intensi »; il Diderot aveva osservato scherzando che col mettere insieme parecchie quantità di ghiaccio non si otterrà un sol grado di temperatura più alto di quello del ghiaccio. E nei casi in cui sembra che il più intenso sia ottenuto colla somma di meno intensi, ciò è solo apparente: infatti soltanto se ci riferiamo alle cause che producono una sensazione possiamo dire, p. es., che la luce ottenuta con due fiamme è doppia della luce ottenuta con una fiamma sola; nella luce più intensa per sè presa non ci sarà possibile scoprire luci meno intense dalla cui sommazione derivi. Dunque, che noi possiamo stabilire tra le varie intensità di una stessa qualità certi rapporti, che possono essere anche (con un certo arbitrio) fissati in simboli numerici, non vuol dire che le variazioni intensive seguano la stessa legge delle variazioni quantitative. Di qui, come corollarî, derivano queste conseguenze: che per giungere al più intenso non è affatto necessario passare per il meno intenso, mentre nell'ordine quantitativo per ottenere una data grandezza è necessario attraversare tutte le grandezze intermedie tra quella che si assume come unità e quella che si deve ottenere; e che mentre nella grandezza maggiore sono conservate le grandezze inferiori della cui somma risulta, nella qualità più intensa non si possono distinguere qualità meno intense. Il cangiamento qualitativo, o che sia passaggio da una qualità

ad un'altra, o che sia passaggio da un'intensità ad un'altra di una stessa qualità, è sempre in certo modo la soppressione di una determinazione qualitativa e la sostituzione di un'altra. Data questa differenza di caratteri, non sarà da meravigliarsi se le leggi del cangiamento qualitativo non coincideranno in tutto e per tutto colle leggi del cangiamento quantitativo.

Per un altro carattere di fondamentale importanza vi è opposizione tra la qualità e la quantità, corrispondente all'opposizione tra il continuo e il discreto. Le variazioni quantitative sono sempre necessariamente discrete; quantificare un oggetto significa infatti farlo corrispondere ad un termine della serie numerica, e la serie numerica è discreta: il passaggio da un numero al numero immediatamente successivo, che nasce dal primo coll'aggiunta di un'unità, non può mai essere un passaggio continuo, perchè, per quanto piccola si prenda l'unità, sarà sempre possibile trovare un valore minore che, aggiunto alla prima grandezza, dia luogo ad una grandezza intermedia tra quelle che si credevano immediatamente successive. Così se ad un segmento di linea si aggiunge un punto (inesteso), la grandezza del segmento rimane invariata; se vi si aggiunge invece un altro segmento di linea, per quanto piccolo sia, il passaggio dal primo al nuovo segmento che si ottiene sarà sempre discontinuo. Il problema non è risolto coll'introduzione del calcolo differenziale, perchè anche per gl'infinitesimi si pone la stessa antitesi che vi è tra il punto e il segmento esteso: o l'infinitesimo è come il punto, e allora, quantitativamente considerato, è rigorosamente nullo; se invece è come il segmento, è una grandezza finita e nulla vieta che esista una grandezza minore. Dunque finchè si rimane nella considerazione quantitativa non c'è modo di ottenere variazioni continue (1). Ma il punto (o l'infinitesimo), mentre sono rigorosamente nulli finchè sono considerati quantitativamente, hanno

(1) È noto che molti tentativi si sono fatti per dare una definizione puramente quantitativa del continuo; ma non credo che siano riusciti senza introdurre surrettiziamente elementi qualitativi. Più d'ogni altro, senza dubbio, ha approfondito il problema Giorgio Cantor; ma delle due definizioni che ha dato del continuo, la prima, o « definizione metrica », non riesce allo scopo, perchè presuppone il concetto da definire: definisce un insieme continuo mediante la relazione ad un altro continuo (lo spazio) in cui è posto. L'altra definizione, o « definizione ordinale » che definisce il continuo come « un sistema di punti (nel senso di valori aritmetici) perfetto e ben concatenato », tale cioè che la differenza tra due punti successivi possa rendersi più piccola di una grandezza data ad

invece come elementi qualitativi un significato per cui non è possibile eliminarli dal calcolo. Se si vuol fare corrispondere ciascun punto di un segmento ad un termine della serie numerica, non è possibile colmare la lacuna tra due punti successivi; ma il segmento è pure un continuo, purchè non lo si consideri più come una somma di punti, purchè si passi dalla categoria della quantità alla categoria della qualità: questo è il passaggio dalla somma all'integrale. Gli infinitesimi possono dunque essere definiti come ciò di cui aumenta il continuo, pur di avvertire che un aumento continuo può aversi soltanto nel campo delle qualità. L'introduzione del calcolo infinitesimale, che permette appunto di tener conto degli aumenti del continuo, è stata possibile in virtù del passaggio dalla quantità alla qualità. A questo doverono pensare Newton e Leibniz, e nell'aver trovata per questa via la soluzione dell'antinomia tra il continuo e il discreto sta, a mio credere, il valore immortale della loro scoperta.

Come esempio che ha importanza per le nostre ulteriori investigazioni, richiamiamo l'attenzione sulle conseguenze che ha la risoluzione del continuo nel discreto in ordine al movimento. Finchè si concepiscono lo spazio e il tempo quantitativamente, cioè come successione discreta di punti o di momenti, il movimento è impossibile, e valgono contro di esso le critiche degli Eleati; quando si passa dalla considerazione quantitativa alla considerazione qualitativa, quando si ristabilisce il continuo nel tempo e nello spazio, il movimento torna ad acquistare il valore di realtà che gli attribuì Aristotele. E si badi che l'antinomia non sarebbe eliminata col considerare un lungo movimento come un'immensa serie di piccoli movimenti separati da tanti stati di riposo, perchè ciascuno di questi piccoli movimenti dovrebbe pur essere un continuo; non si elimina la continuità col semplice spezzarla in parti sempre continue.

---

arbitrio - definizione che richiama quella di numero irrazionale - non solo va incontro a gravi difficoltà, essendo assai arbitraria, ma anche introduce concetti che non appartengono più alla categoria della quantità (il concetto stesso di ordine e il concetto di un « insieme compatto »). Non si può dunque dire che il Cantor sia riuscito a dare una definizione puramente numerica del continuo (v. una critica di tali definizioni in Hannequin, *Essai critique sur l'hypothèse des atomes*, Paris, 1895, pp. 48-49). Lo stesso Couturat. che si accorda col Cantor (v. *Les principes des mathématiques*, Paris, 1905, pp. 91 sgg.), confessa poi che le geometrie in cui il concetto di continuo occupa un posto essenziale sono le geometrie qualitative: la geometria proiettiva e l'analysis situs.

Siamo dunque nell'impossibilità di generare il continuo dal discreto, la qualità dalla quantità.

Infine notiamo che le qualità ci si presentano come *dati* che noi possiamo sperimentare, ma che non possiamo in alcun modo trascrivere in termini intellettuali. Anche questo è un carattere che serve bene a distinguere la qualità dalla quantità: la quantità, infatti, è, come abbiamo detto, un rapporto stabilito dalla mente, ed è il mezzo più generale per l'assimilazione della realtà alla mente: quando noi abbiamo quantificato un oggetto, lo abbiamo fatto rientrare in un sistema di rapporti intelligibili, ne abbiamo colto l'aspetto che può essere trattato colle leggi logiche: in una parola, abbiamo enucleato dalla realtà l'aspetto razionale. Invece le qualità sono refrattarie ad una trascrizione in termini razionali; chi è sfornito di certe qualità sensoriali, perchè mancante degli organi che ne sono la condizione, non può acquistarne coscienza per via del pensiero; se non ci poniamo nelle condizioni fisiche, fisiologiche e psicologiche che si richiedono per averne la rappresentazione, col pensiero non possiamo creare delle qualità sensoriali nè possiamo colle leggi logiche dedurle da altro. Nel mondo delle qualità, apprese da noi come puri fatti, incontriamo un limite alla traduzione della realtà in termini intelligibili e quindi un limite per ogni forma d'idealismo.

Veduti così rapidamente i caratteri della qualità in generale, è opportuno tracciare a grandi linee un quadro delle varie sfere delle qualità sensoriali nostre, astenendoci dalle analisi psicologiche e cercando piuttosto di cogliere i caratteri del mondo delle qualità sensoriali considerato obiettivamente. Nè ciò sembri in contrasto col principio ormai ammesso della soggettività delle nostre sensazioni; perchè, pur essendo soggettive nel senso che non rappresentano qualità inerenti agli oggetti, le qualità sensoriali presentano poi caratteri intrinseci al loro ordinamento e non dipendenti da questo o quell'individuo, da queste o quelle condizioni degli organi di senso; tanto è vero che si possono formulare le leggi generali del mondo delle qualità sensoriali e che, usando una metafora, si suol parlare di « geometrie » delle diverse sfere della sensibilità.

Le sensazioni termiche non presentano, nelle condizioni ordinarie, differenze qualitative, ma differenze intensive di una stessa qualità: dal meno caldo si procede con continuità verso il più caldo. Di quì segue che le qualità forniteci dal senso

termico possono essere rappresentate mediante una *serie lineare continua* i cui elementi non possono essere distribuiti in classi. La *linea retta* sarà il simbolo geometrico delle qualità termiche. Il senso muscolare e il senso del tatto ci forniscono altri due gruppi di sensazioni: le sensazioni di sforzo che si hanno nel sollevare un peso o vincere una resistenza, e le sensazioni semplici di contatto o di pressione. Le prime hanno differenze solo intensive e possono quindi rappresentarsi con una linea retta: le qualità del pesante e del leggiero sono gradi diversi di una stessa qualità. Ma questa serie lineare è continua o discreta? Astrattamente non è possibile che la serie dei pesi sia continua, perchè dev'essere sempre possibile il trovare un peso intermedio tra due successivi, per quanto di poco differiscano; ma la serie teoricamente discreta diventa praticamente continua, perchè vi è un *minimum* di aumento di peso necessario affinchè si avverta una variazione d'intensità nella qualità percepita. Le sensazioni di contatto poi sono qualitativamente uguali, ma, complicandosi in varî modi, assumono differenti aspetti (liscio e ruvido, duro e fluido) con diversi gradi di intensità in ciascuna serie.

Non è possibile ordinare in classificazione razionale le qualità forniteci dal gusto e dall'olfatto. Quattro sole le qualità gustative, numerosissime le qualità olfattive, presentano poi tutte gradazioni intensive; ma tra le qualità diverse non si riconoscono affinità che permettano di raggrupparle in classi.

Più importanti di tutte dal punto di vista di cui ora trattiamo sono le qualità uditive e visive. Nelle sensazioni uditive le differenze di qualità sono di due specie: una prima è rappresentata dalla diversa altezza dei suoni, secondo la quale tutti i suoni possono essere disposti in una serie lineare continua; ma questa serie si suddivide poi in determinati periodi (le ottave) succedentisi regolarmente e tutti uguali tra loro, sebbene differenti di altezza. Due suoni possono essere uguali per il posto che occupano nell'ottava, ma differenti di altezza; invece due suoni di altezza uguale sono in tutto identici. La rappresentazione simbolico geometrica dei suoni deve tener conto del diverso valore di queste due specie di differenze qualitative: perciò, mentre si indica il sistema unidimensionale delle qualità uditive mediante una linea continua, si assume la *linea spirale* come espressione del sistema, rappresentando in ogni spira un periodo di un'ottava. Un altro carattere va rilevato:

data la continuità della serie dei suoni, è possibile scegliere a qualsiasi altezza il principio di un'ottava ed è possibile in qualunque parte della serie scegliere diversi suoni che stiano tra loro in rapporti determinati; perciò, purchè rimangano inalterati i rapporti tra i suoni, è possibile trasportare una frase musicale da un tono all'altro lasciandola immutata. Questa trasposizione non sarebbe possibile nella serie dei colori, perchè mentre un suono assume diverso significato (pur rimanendo qualitativamente lo stesso) a seconda dei rapporti in cui è cogli altri suoni, un colore è quello che è indipendentemente da ogni rapporto con altri colori.

Nelle sensazioni visive dobbiamo distinguere tre differenze qualitative: 1) le differenze tra i singoli colori. I colori dello spettro solare formano una serie ciclica, giacchè l'ultimo colore, il violetto, attraverso le gradazioni del porpora ci riconduce al rosso, il primo colore dello spettro; la rappresentazione simbolico-geometrica dell'ottava di colori sarà dunque il *circolo.* 2) le differenze di saturazione di ciascun colore: p. es. il rosso, il rosso cupo, il rosa ecc.; i due limiti estremi della saturazione sono uguali per tutti i colori, il bianco come caso-limite della saturazione minima, il nero come caso-limite della massima saturazione. Se una linea rappresenta la serie dei colori, la *superficie* del piano ch'essa divide sarà occupata da tutte le gradazioni di ciascun colore. 3) le differenze di luce acromatica: dal bianco, attraverso le gradazioni del grigio, si giunge al nero con una serie di tinte continua, lineare, *retta* e finita, chiusa tra i due limiti estremi. Tenendo conto di questo, fu detto che il sistema delle qualità visive è un sistema tridimensionale rappresentabile col *solido sfera,* in cui il circolo dell'equatore simboleggia la serie dei colori dello spettro, la superficie sferica è occupata dai varî gradi di saturazione di ciascun colore, culminanti col bianco e col nero ai due poli; e l'asse che congiunge i due poli contiene le gradazioni della luce acromatica dal bianco al nero attraverso il grigio. Sistema chiuso in sè stesso, perchè chiuso è il ciclo dei colori e limitata a guisa di segmento la serie delle sensazioni di luce acromatica.

Questi caratteri servono bene ad individuare le diverse sezioni del mondo delle qualità sensoriali. Non è privo di significato il fatto che vi siano delle leggi intrinseche a ciascuna sfera di qualità: infatti la regolarità geometrica, l'ordine fisso

di ciascun sistema di qualità pone un limite alla relatività delle sensazioni: se ciascun individuo, data la struttura e le condizioni dei suoi organi sensoriali, apprende le qualità a modo suo, non può per altro creare ad arbitrio un mondo di qualità che non sia regolato dalle leggi su esposte: queste « forme della sensibilità » oltrepassano la relatività individuale, e non è perciò assurdo il chiamarle, in questo senso, obiettive

Non meno importanti sono le leggi dell'aggruppamento delle qualità sensoriali. Nella nostra esperienza non ci si presenta mai una qualità isolata; è vero che alcune potrebbero andare isolate da qualunque altra, p. es. un profumo, un suono, mentre altre sono necessariamente congiunte, p. es. il gusto e il contatto: ma in fondo non abbiamo mai sensazioni isolate, i corpi che costituiscono il nostro mondo esterno sono complessi talvolta molto ricchi di qualità sensoriali. Due sono le specie di rapporti in cui stanno le qualità sensoriali: alcune stanno tra loro in rapporto di opposizione, e quindi si escludono reciprocamente; altre stanno in rapporto di disparità e possono combinarsi in varî modi. Alle prime appartengono le qualità di una stessa modalità, date dallo stesso senso: ciò che è rosso non può essere verde, il salato non può essere dolce ecc.; alle seconde appartengono invece le qualità di modalità differenti date da uno stesso senso o le qualità appartenenti a sensi diversi: un oggetto può presentare forma, colore, esser luminoso, esser caldo, mandar suono, essere duro, liscio, odoroso nello stesso tempo. Il collegamento delle varie qualità è regolato da leggi particolari: p. es. la trasparenza, il colore e la luminosità debbono trovarsi connessi secondo determinate proporzioni; il calore, la luce e i colori sono connessi in modo che un corpo che emette luce rossa è più caldo di uno che emette luce violetta; i suoni e i movimenti vibratorî dei corpi sonori sono associati secondo leggi determinate.

Il mondo delle qualità sensoriali non è dunque un caos nè è il prodotto del nostro arbitrio; esso è regolato da leggi che non sono ricavabili dalle leggi logiche, che anzi sono refrattarie ad ogni tentativo di razionalizzarle, sono date nell'esperienza e valgono come dati di fatto. E questa connessione si manifesta colla massima evidenza nel caso del cangiamento: quando in un complesso di qualità un elemento subisce una modificazione tale che non può stare in connessione cogli altri elementi del complesso, questo cangiamento dev'essere accom-

pagnato da uno o più altri cangiamenti in altri elementi, in modo che non siano violate le leggi della connessione reciproca tra le varie qualità. Questo, espresso in termini di esperienza pura, è il fatto che osserviamo quando diciamo che un cangiamento in una proprietà di un corpo dev'essere accompagnato da altri cangiamenti nelle altre proprietà. Il cangiamento qualitativo è dunque regolato da leggi derivanti dalle diverse connessioni costanti in cui si trovano tra loro le varie qualità; da queste connessioni è resa possibile la descrizione e la classificazione di tutti i fenomeni della natura.

Questo, rapidamente accennato, è il mondo delle nostre qualità sensoriali.

È possibile considerare questo mondo come la vera realtà? la nostra rappresentazione della natura corrisponde a ciò che la natura è indipendentemente dalla nostra rappresentazione? Se la risposta a questa domanda fosse affermativa, il problema dell'origine delle differenze qualitative non esisterebbe; prima dunque di entrare a discutere le teorie che hanno cercato di risolvere questo problema, dobbiamo vedere se il problema stesso ha fondamento o se è illusorio e può essere eliminato. Ora in due modi si può cercare di eliminare il problema dell'origine delle differenze qualitative: o affermando che le qualità che noi percepiamo sono proprietà degli oggetti, che cioè noi rispecchiamo fedelmente nella nostra coscienza la realtà esterna senza modificarla; oppure affermando che non vi è altra realtà al di fuori della nostra rappresentazione, che gli oggetti non hanno esistenza all'infuori dei soggetti che se li rappresentano. La prima soluzione è quella del realismo ingenuo, la seconda quella del fenomenismo radicale; opposte in un certo senso, per un altro senso si accordano e convergono nel medesimo fine di eliminare il problema dell'origine delle differenze qualitative.

La posizione del realismo ingenuo, sebbene sia anteriore alla riflessione critica sui dati dell'esperienza, è tuttavia già un superamento della fase dell'esperienza pura, nella quale il mondo delle rappresentazioni è appreso come un caos senza regole e senza differenze di valore. Il realista ingenuo anzitutto conosce la distinzione tra cose e proprietà; e se poi caratterizza le cose unicamente per mezzo di quelle proprietà che gli appariscono più costanti, più coerenti, più facilmente apprensibili in condizioni differenti, ciò significa pure che attri-

buisce diverso valore alle diverse qualità, che ne considera alcune (come la forma, la solidità, il volume, la resistenza ecc., cioè in genere le qualità tattili) come costituenti le cose, altre (colori, suoni, odori, sapori, temperature) come proprietà o attributi delle cose stesse. In secondo luogo, il realista ingenuo sa che le nostre percezioni dei medesimi oggetti variano secondo molte condizioni: non può non esser colpito p. es. dal fatto che uno stesso oggetto muta colore nelle varie ore del giorno a seconda della luce e perde ogni colore all'oscurità, dal fatto che un suono sembra più debole se è più lontano o se l'atmosfera è umida, ecc. Soltanto, il realista ingenuo da queste variazioni conclude: 1° che esse dipendono soltanto da condizioni esterne (come le varie ore del giorno, o lo stato dell'atmosfera) oppure dal rapporto fisico tra il soggetto e l'oggetto (come la distanza): non sospetta che ci sia una variabilità delle qualità dipendente da condizioni interne al soggetto e ai suoi organi; 2° che le qualità inerenti alle cose sono quelle che ci appariscono nelle condizioni normali (che possono essere determinate solo riferendosi alla frequenza, al maggior numero dei casi): un oggetto che alla luce normale del giorno appare giallo, pel realista ingenuo è effettivamente giallo, anche se esposto ai raggi solare appare incoloro e alla semioscurità del crepuscolo appare grigio. In terzo luogo, per questo stesso fatto di considerare come reali le proprietà che ci appaiono in condizioni normali, il realista ingenuo ammette la continuità dell'esistenza delle proprietà anche quando non appariscono a nessuno: un oggetto che ci appare rosso continua, pel realista ingenuo, ad essere rosso anche all'oscurità, e un corpo sonoro continua ad emetter suono anche se nessuno lo ascolta [1]. Da questi fatti emerge il carattere più saliente e insieme il punto più vulnerabile del realismo ingenuo, che si può riassumere così: il realismo ingenuo non fa mai intervenire il soggetto come fattore attivo nella formazione delle qualità sensoriali.

Che la genuina posizione del realismo ingenuo non potesse essere sostenuta fu, si può dire, il primo risultato della riflessione filosofica. Anche i primi filosofi greci, pur così scarsi di critica, col cercare l'elemento originario della natura miravano a considerare alcune proprietà fisiche (p. es. quelle del-

(1) Schwarz, *Das Wahrnehmungsproblem vom Standpunkte des Physikers, des Physiologen und des Philosophen* (Leipzig, 1892), p. 7.

l'acqua, quelle del fuoco) come veramente reali, e le altre come modificazioni di queste fondamentali e da queste derivate. Quì ancor non s'introduce la relazione conoscitiva per spiegare l'origine delle qualità sensoriali; soltanto coll'atomismo di Leucippo e Democrito, che considera alcune qualità come prendenti origine pel contatto tra la realtà e il soggetto, coll'idealismo di Platone, che sopprimendo la realtà materiale risolve il mondo esterno in pure rappresentazioni (« partecipazioni » o « imitazioni » delle idee), infine collo scetticismo che inizia veramente la critica della conoscenza e richiama l'attenzione sul contributo soggettivo nella formazione del mondo delle rappresentazioni, il realismo ingenuo viene del tutto abbandonato. I fatti più importanti che, in parte agli albori della filosofia, in parte più tardi guidarono all'abbandono del realismo ingenuo possono così riassumersi: 1° le contraddizioni tra i dati di un senso e i dati di un altro, p. es. tra la rappresentazione visiva e la rappresentazione tattile di un medesimo oggetto nelle medesime condizioni; onde, attribuendo maggior fede ai dati di un senso (il tatto), che ci mostrano una maggior persistenza, che a quelli degli altri sensi, si parlò, impropriamente, di « errori dei sensi », là dove si avevano soltanto errori di giudizio; 2° la relatività delle sensazioni a seconda delle condizioni dell'organo che è il tramite tra l'oggetto stimolante e il soggetto senziente: relatività che, evidentissima per le sensazioni termiche, venne riconosciuta esistere per tutte le sensazioni; 3° le differenze individuali, per cui certi individui, pur essendo forniti degli organi della percezione, hanno percezioni diverse da quelle dei più (es. il daltonismo); onde poteva nascere il dubbio che le percezioni di tutti gli individui potessero essere differenti e che solo convenzionalmente si potesse parlare di percezioni uguali in due diversi individui; dubbio confortato dall'impossibilità di dimostrare l'identità delle percezioni di due individui a causa dell'incomunicabilità dell'esperienza individuale; 4° il fatto dei sogni, delle illusioni, delle allucinazioni, su cui gli scettici greci tanto insisterono, e che sono delle rappresentazioni la cui insorgenza non è determinata da stimoli esterni all'individuo che le prova; sicchè, nonostante le differenze che pure esistono tra il sogno e la rappresentazione che abbiamo del mondo durante la veglia, era facile che nascesse il sospetto che tutto il nostro percepire sia un sognare, che nell'interno del soggetto si debba cercare l'origine delle

sue rappresentazioni. Non occorre dilungarsi ad enunciare tutti i fatti che scossero la fede nel realismo ingenuo; basti concludere che, siccome il realismo ingenuo aveva già ammessa la dipendenza della percezione delle qualità da condizioni esterne, e tutti i fatti raccolti mettevano in chiaro che la percezione delle qualità dipende anche da condizioni interne al soggetto senziente e cosciente, il risultato della critica del realismo ingenuo era il sorgere del problema dell'origine delle qualità sensoriali, la necessità di determinare le condizioni oggettive e le condizioni soggettive dell'insorgenza delle differenze qualitative.

Mentre il realismo ingenuo è il primo risultato della riflessione sui dati dell'esperienza, il fenomenismo radicale è una delle più tarde posizioni assunte dal pensiero filosofico; ma è anche, per un certo rispetto, un ritorno, se non al realismo, alla fase dell'esperienza pura. Il concetto inspiratore del fenomenismo radicale è infatti che se vogliamo fondare la scienza su basi solide e sottrarla alla vicenda di nascita e morte a cui sono soggette tutte le teorie speculative, dobbiamo restringere il campo delle nostre investigazioni entro i limiti della pura esperienza, non già considerando i dati dell'esperienza come una manifestazione di una realtà per sè stante, conoscibile o inconoscibile che sia, ma considerando le qualità sensoriali come la sola realtà; al di là dei dati dei sensi - colori, suoni, pressioni, odori, sapori, spazialità, durate - non abbiamo nulla da cercare. « La natura è composta degli elementi dati dai sensi », afferma il rappresentante più genuino del fenomenismo radicale, il Mach (1). Non c'è dunque da « spiegare » l'origine delle qualità sensoriali, perchè queste sono la realtà ultima; ogni problema metafisico è dunque illusorio, perchè deriva dall'ipotesi arbitraria di una realtà metempirica che sia il fondamento dei dati dell'esperienza. È evidente che soltanto l'esperienza pura è libera da principî metafisici; col realismo ingenuo già incomincia la metafisica, perchè già si pone l'esistenza di una realtà per sè stante, substrato permanente dei fenomeni.

Come nasce, si domanda il Mach, l'idea di una realtà per sè stante? Gli elementi costituenti la natura, cioè le qualità sensoriali, non ci si presentano mai isolati: sono più o meno

(1) Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwickelung historisch-kritisch dargestellt;* traduz. italiana sulla 6ª ediz. tedesca (Roma, 1909), p. 499.

strettamente connessi e tali connessioni sono più o meno persistenti; quando si crede che la permanenza di questi gruppi di qualità sia assoluta, si attribuisce loro una realtà per sè stante, si ipostatizzano in elementi reali cui si dà il nome di « corpi »: questa è la prima metafisica, quella del realismo ingenuo. L'ulteriore riflessione filosofica, subentrando alla metafisica degli uomini comuni, osserva che i complessi di elementi sono soltanto relativamente persistenti e che alcune qualità sensoriali sono più delle altre soggette a variare; allora la realtà viene caratterizzata come fornita delle proprietà più persistenti (le qualità tattili), e le altre qualità vengono considerate non più, come dal realismo ingenuo, come « proprietà » delle cose, ma come la manifestazione soggettiva dei varî modi di raggrupparsi di quei nuclei persistenti formati dalle qualità tattili. Questo « realismo corretto », che distingue nei corpi le qualità primarie dalle qualità secondarie, è la base della concezione meccanica della natura. Ma una più approfondita analisi delle sensazioni mostra che la scelta che, nel complesso delle qualità sensoriali, noi facciamo di quelle che sembrano più persistenti e che obiettiviamo credendole il sostegno delle qualità che appaiono più transitorie, è arbitraria, perchè nessuna delle qualità sensoriali è assolutamente persistente, tutte sono variabili per molteplici condizioni soggettive Non potendosi dunque più caratterizzare la realtà per mezzo di nessuna qualità sensoriale, sorge la nuova posizione filosofica, il « realismo critico », che, considerando come soggettive tutte, indistintamente, le qualità sensoriali, pone come loro sostegno una realtà che, non potendo essere da noi caratterizzata, è un puro pensabile, un noumeno che sfugge alla nostra conoscenza. Ma, costretto ad assumere quest'ultima forma, il realismo viene a mancare al suo scopo principale, giacchè da un lato dà a tutto il mondo della nostra esperienza il valore di una grande illusione, dall'altro, per salvare il concetto di sostanza e nell'impossibilità insieme di oggettivare le qualità sensoriali, deve postulare l'esistenza di una realtà, esterna alla coscienza, tale che non può servire a spiegare la conoscenza; infatti è impossibile stabilire i legami tra il mondo noumenico e il mondo fenomenico quando del primo non si sa nulla. Il concetto di sostanza come realtà per sè stante è così diventato inutile; noi possiamo servircene in pratica per indicare un complesso di qualità connesse in un'unità relativamente costante (come

quando parliamo di sostanze chimiche), ma dobbiamo aver coscienza che di reali non ci sono se non le qualità, o, come dice il MACH, gli « elementi » della nostra esperienza sensoriale. Mentre il realismo considera le qualità come « segno » o « simbolo » di una realtà esterna, come la manifestazione al soggetto dei corpi, il fenomenismo radicale considera i « corpi » come simboli mentali per indicare dei complessi di elementi sensoriali di relativa stabilità. « I veri elementi del mondo non sono le cose (gli oggetti, i corpi), ma bensì i colori, i suoni, le pressioni, gli spazi, le durate (ciò che comunemente diciamo sensazioni) » (1). Coll'abbandono del realismo viene dichiarata impossibile ogni metafisica; e i problemi di maggiore importanza, come quello dell'origine delle qualità sensoriali, vengono dichiarati illusori (2).

Il mondo esterno si risolve dunque, pel MACH, in un complesso di qualità sensoriali raggruppate in unità relativamente persistenti; lo studio di queste connessioni e delle loro variazioni è l'oggetto della fisica. Di fronte agli oggetti del mondo esterno, il nostro organismo non è che un altro complesso di elementi o qualità sensoriali unite più strettamente tra loro che cogli elementi del mondo esterno; ma nè l'indipendenza dell'organismo dagli oggetti del mondo esterno è assoluta, perchè da un lato il mondo esterno ci apparisce diversamente (e, si ricordi, il mondo esterno non ha altra realtà fuori del suo apparire a noi, è un mondo puramente fenomenico) a seconda delle condizioni in cui si trova l'organismo e specialmente gli organi di senso e il sistema nervoso (tra queste condizioni il MACH accenna in modo speciale alle variazioni che subiscono le nostre sensazioni in seguito all'ingestione di sostanze tossiche), dall'altro i fatti di adattamento dimostrano la dipendenza dell'organismo dalle condizioni dell'ambiente esterno; nè poi questa relativa indipendenza basta a giustificare

(1) MACH, *Meccanica* (trad. ital.), p. 499.

(2) V. LUCKA, *Das Erkenntnisproblem und Machs Analyse der Empfindungen* (in « Kantstudien », vol. VIII, 1903, pp. 401-2). Sono note le rispondenze tra la concezione del MACH e quella dell'AVENARIUS, che fin dal 1876 aveva pubblicata la sua opera « Denken der Welt nach dem Princip der kleinstes Kraftmaasses » e nel 1888, due anni dopo che il MACH ebbe pubblicata la 1ª edizione della sua « Analyse der Empfindungen », diede la « Kritik der reinen Erfahrung ». Il punto principale dell'accordo tra i due pensatori, che, al dire dello stesso MACH, sono del resto d'indole e di studî diversi, sta nella posizione del fenomenismo radicale e nell'affermazione dell'identità fondamentale tra fatti fisici e fatti psichici.

un dualismo tra gli oggetti del mondo esterno e il nostro organismo, poichè gli elementi di quelli sono della stessa natura degli elementi che formano questi: qualità sensoriali. Cadono così le barriere tra fisica e fisiologia, poichè le due scienze studiano solamente aggruppamenti diversi di elementi di ugual natura; e questo giustifica l'applicazione dei metodi di ricerca della fisica nella fisiologia.

E il mondo psichico si presenta forse costituito di elementi di natura *toto coelo* diversa da quella degli elementi del mondo fisico e fisiologico? No, risponde il MACH: l'io non è che un altro aggruppamento relativamente stabile di elementi della stessa natura, di qualità sensoriali; le sensazioni sono i fatti psichici elementari, e tutte le altre funzioni psichiche possono ridursi alla funzione sensoriale. Ogni pretesa di ammettere una realtà spirituale, un *quid* misterioso che sia il substrato permanente dei fenomeni psichici cade quando si consideri che l'immutabilità di questa pretesa sostanza spirituale è in contraddizione coi dati dell'esperienza psichica, i quali invece ci mostrano da un lato la stretta dipendenza dei fatti psichici dai fatti fisiologici, dall'altro che la permanenza dell'io e la continuità della vita psichica sono soltanto relative: il mutar continuo dei pensieri, dei sentimenti, dei ricordi, le trasformazioni del carattere attraverso le età, che ci fanno apparire i periodi trascorsi della nostra vita come qualche cosa di estraneo a noi, il dissolversi della vita individuale colla morte, infine tutti i casi patologici di alterazione e di sdoppiamento della personalità mostrano come anche questo complesso di elementi, che diciamo « io », non abbia quella stabilità assoluta che si richiederebbe per poterne fare una sostanza. L'io è dunque soltanto un complesso di elementi legati insieme più strettamente tra loro che cogli elementi dei corpi, ma nè assolutamente indipendenti da questi nè di natura differente. In che si distingue, allora, un fatto psichico da un fatto fisico? Non nel suo contenuto, ma solo nei suoi legami con altri fatti: uno stesso elemento è fisico se lo considero in relazione ad un complesso di elementi costituente un corpo, è psichico se lo considero in relazione a quell'altro complesso di elementi che diciamo soggetto, io (tesi del parallelismo psicofisico). « Un colore è un *obbietto fisico* fintantochè consideriamo la sua *dipendenza* dalle fonti di luce (altri colori, calore, spazio ecc.); ma se noi lo consideriamo nella sua *relazione con la retina*, diviene

tosto un *obbietto psicologico*, una sensazione. Nei due campi non varia il *contenuto*, ma l'*indirizzo nelle ricerche* » (1). Così cadono anche le barriere tra mondo fisico e mondo psichico, poichè quegli stessi elementi, che considerati in una determinata dipendenza funzionale sono le qualità con cui è costruita la natura, considerati in un'altra dipendenza funzionale sono i fatti psichici elementari, con cui si costruiscono tutte le funzioni dello spirito. Così viene abolito ogni dualismo.

Data questa concezione del mondo, l'ufficio della scienza è la descrizione chiara ed economica dei fatti, « *ein vollständiges übersichtliches Inventar der Thatsachen eines Gebietes* » (2); la scienza deve offrire un mezzo economico per rappresentare le esperienze e riassumerle in modo che il nostro pensiero compia il minimo sforzo possibile. La matematica, applicata alla fisica, è « il metodo col quale si sostituiscono, quando è possibile e nel modo *più economico*, le *nuove* operazioni sui numeri mediante altre precedentemente eseguite e che quindi è inutile ricominciare » (3); il calcolo è un mezzo di risparmiare il contare diretto e per questo è della massima utilità nella scienza. Da questo scopo economico la scienza trae la sua efficacia pratica. E poichè oltre al mondo dell'esperienza, oggetto della scienza, non esiste altro, così non ha diritto di esistere una riflessione sull'esperienza diversa da quella della scienza; ad una metafisica mancherebbero l'oggetto e lo scopo. Il pensiero, di fronte al mondo dell'esperienza, ha bisogno non già di assimilarlo, ma di dominarlo per i fini pratici: mezzo unico per l'acquisto di questo dominio è appunto la descrizione economica dei fatti (4).

Questa, a grandi linee, la concezione del MACH. Essa, tanto per l'intuizione fenomenistica del mondo, quanto per l'esclusione d'ogni ricerca che esorbiti dallo scopo economico della scienza, mira ad eliminare come illusorio e mal posto il problema dell'origine delle differenze qualitative. Può accettarsi questa concezione? La prima difficoltà s'incontra quando si

(1) MACH, *Analyse der Empfindungen* (traduz. ital., Torino, 1903), p. 21. E in generale: pp. 1-56 e 357-408.

(2) MACH, *Principien der Wärmelehre* (Leipzig, 1900, 2 Aufl.), p. 461.

(3) MACH, *Meccanica* (trad. ital.), p. 503.

(4) Questo concetto non è nuovo nel MACH; oltre ad alcuni accenni in KANT ad un principio economico direttivo delle ricerche scientifiche, bisogna ricordare il KIRCHHOFF, che dava come compito alla scienza una « vollständige einfache Beschreibung der Phänomene ». Cfr. l'art. cit., pag. 401, del LUCKA.

cerca di determinar bene ciò che sono, secondo il MACH, gli « elementi » costituenti la natura fisica e la psiche. Fermiamoci per ora sulla natura fisica; come « elementi » il MACH indica i colori, i suoni, le pressioni, gli spazi, le durate, e questi elementi, egli dice, possono essere considerati come oggetti fisici quando sono posti in connessione cogli altri elementi dei complessi (i corpi) di cui fanno parte, e come sensazioni quando sono posti in connessione col soggetto. Dunque è possibile considerare i colori, i suoni ecc. come indipendenti dal soggetto che li percepisce; ora, poichè la possibilità di considerarli fuori della loro relazione al soggetto implica che effettivamente questi elementi non siano connessi con necessario legame al soggetto, bisogna concludere che questi elementi esistono anche indipendentemente dal soggetto. Infatti il MACH insiste più volte nel dire che questi elementi non vanno considerati soltanto come sensazioni, perchè quando è soppresso il soggetto senziente, questi elementi sussistono. Ma non sussistono come qualche cosa di diverso da quel che appariscono a noi (altrimenti si tornerebbe al realismo critico), sussistono come qualità sensoriali. Allora domandiamo: che cosa sono i colori, i suoni ecc. se si fa astrazione dal soggetto che li percepisce? È possibile considerare come per sè stanti delle qualità sensoriali, dal momento che nè sono sostanze nè, secondo il MACH, ineriscono ad una sostanza, nè si risolvono in puri contenuti di coscienza? Qui siamo evidentemente di fronte ad una contraddizione: infatti mentre si nega l'esistenza di una realtà per sè stante di cui le qualità sensoriali siano il modo di apparire al soggetto, d'altro lato si nega la necessità della dipendenza dei fenomeni dal soggetto; si giunge a considerare come per sè stanti i fenomeni, il che è assurdo. I fenomeni, essendo parvenze, implicano una realtà « che appare » ed una realtà « a cui appaiono »; quindi non ci sono che due maniere coerenti di risolvere il problema: o ammettere due realtà, il soggetto e l'oggetto, distinti, dalla cui azione reciproca abbia origine il mondo fenomenico (realismo); o ammettere che la realtà sia unica, che l'essere che determina le percezioni sia della stessa natura spirituale dell'essere che percepisce (idealismo berkeleyano). La posizione del fenomenismo radicale è dunque insostenibile e deve finire col metter capo o ad un realismo, o ad un idealismo come quello di BERKELEY, tanto l'uno che l'altro dei quali

pongono una realtà a fondamento del mondo fenomenico e quindi oltrepassano il puro fenomenismo.

Anche insostenibile è l'identificazione di fatti fisici e fatti psichici. Dice il MACH che il soggetto, l'io, è un complesso di elementi, e caratterizza questi elementi come sensazioni; io vedo, tocco, sento molti oggetti; questi oggetti, in quanto sono visti, toccati, sentiti, sono delle sensazioni, il cui complesso formerebbe l'io; dunque l'io sarebbe il complesso degli oggetti visti, toccati, sentiti. Ma *chi* vede, tocca, sente? Le qualità sensoriali sono presentazioni ad un soggetto, ma non sono qualità del soggetto; è impossibile superare il dualismo tra il soggetto che percepisce e le qualità che sono percepite. Oltre ai colori, ai suoni, alle resistenze, vi sono gli atti psichici con cui io vedo i colori, ascolto i suoni, percepisco le resistenze; oltre alle qualità sensoriali, vi sono gli atti percettivi di cui le qualità sensoriali sono i termini. E tra le qualità e gli atti percettivi vi è differenza ben più profonda che tra due indirizzi diversi di ricerca: vi è differenza di natura, ed è questa differenza che vieta di identificare semplicisticamente i fatti fisici e i fatti psichici. Una prova di questa differenza e dell'impossibilità di eliminarla è offerta dalle conseguenze assurde a cui conduce la teoria del MACH: se gli elementi costituenti il mondo della natura fisica e gli elementi costituenti il mondo psichico fossero essenzialmente identici, come si spiegherebbe il fatto che certi complessi di elementi (i soggetti) conoscono gli altri, mentre ci sono dei complessi di elementi (gli alberi, le pietre ecc.) che non conoscono gli altri complessi? Tanto è grave questa difficoltà, che vi è stato chi (1) ha detto che la teoria dell'esperienza pura di AVENARIUS e MACH, per essere veramente monista, deve ammettere, finchè non sopraggiungano più profonde cognizioni fisiologiche, che l'albero e la pietra vedano e tocchino il proprio ambiente al pari dell'uomo. Ma se quando si rimanga nel campo ristretto dell'esperienza pura non c'è ragione di negare la conoscenza agli alberi e alle pietre, per poco che si oltrepassi questo stadio primitivo di conoscenza, per poco che si allarghino le nostre cognizioni fisiologiche e psicologiche ci accorgiamo che è impossibile ridurre tutti gli

(1) ROBERTO WLASSAK, cit. dal MACH, *Analisi delle sensazioni*, (trad. ital.), p. 65.

esseri ad un comune denominatore; la funzione della conoscenza pone un abisso tra gli esseri che la posseggono e quelli che non ne sono capaci; e se i risultati delle scienze fisiologiche e psicologiche conducono a negare questa forma di monismo, dobbiamo conservarla soltanto perchè rappresenta la filosofia dell'esperienza pura, anteriore alla riflessione e alla scienza? Possiamo concludere su questo punto dicendo che la teoria del MACH o non spiega il fatto della conoscenza, perchè non ammette altri fatti psichici oltre i complessi di qualità, e si rende contraddittoria; o deve affermare che la funzione conoscitiva emerge dal fatto stesso che esistono dei complessi di elementi, e allora, avendo identificato nella loro natura tutti gli elementi, deve concludere che tutti i complessi di elementi sono capaci di conoscenza, ponendosi così in contrasto coll'esperienza e colla scienza.

Del resto l'impossibilità di eliminare il dualismo tra il soggetto senziente e gli oggetti (le qualità sensoriali) si fa sentire anche in MACH quando scrive: « Dalle *sensazioni* emerge il soggetto, il quale senza dubbio di nuovo reagisce contro le sensazioni »: due affermazioni in contraddizione tra loro, perchè se il soggetto è il complesso delle qualità sensoriali, chi reagisce contro le qualità medesime? dove è il soggetto che considera queste qualità come termini delle sue azioni? Se gli oggetti e i soggetti sono soltanto complessi di elementi, non si può ammettere più un rapporto di azione e passione, perchè ogni forma di attività implica una realtà che non si esaurisce nel fenomeno: il fenomeno per sè non è attivo. Dalla semplice connessione degli elementi non nasce l'attività, perchè questa connessione rappresenta tutt'al più l'unità di una legge, un legame di dipendenza funzionale (1), non s'incentra in un'unità reale, in un centro di forza; e allora come si spiega l'innegabile interazione tra il soggetto e il mondo esterno? Sono queste le difficoltà che richiedono di oltrepassare il fenomenismo radicale, di ammettere nel soggetto e negli oggetti una realtà che non si esaurisce nei fenomeni, e di considerare le qualità sensoriali come il modo onde gli oggetti appariscono al soggetto percipiente. Così risorge per ogni verso il problema dell'origine delle differenze qualitative.

---

(1) È noto che il MACH ha sostituito al concetto fisico di legame causale il concetto matematico di dipendenza funzionale; v. *Analisi delle sensazioni* (trad. ital.), pp. 110-114; LUCKA, art. cit., pp. 404-410.

Veniamo ora alla concezione della scienza secondo il MACH. Notiamo anzitutto che il MACH non si limita a dire che le ipotesi metafisiche vanno escluse dalla scienza - nel che si accordano con lui altri illustri scienziati, come il DUHEM e l'OSTWALD, le cui concezioni dovremo esaminare nel corso del nostro lavoro, - ma dà anche uno scopo speciale alla scienza e un valore ben diverso dal solito all'elaborazione dei fenomeni per opera del pensiero: secondo il MACH, se il classificare i fenomeni e sottoporne il decorso a misure quantitative avesse per scopo di enucleare l'aspetto intelligibile della natura, com'è nell'intendimento di ogni scienza che abbia scopi teorici e non puramente pratici economici, l'elaborazione dell'esperienza operata dalla scienza presupporrebbe tacitamente un concetto metafisico; la scienza non deve dunque oltrepassare l'esperienza: « ciò che non ha carattere sensibile non ha *significato* nella scienza » (1); « l'esperienza deve innanzi tutto insegnarci *quale è* la dipendenza reciproca che esiste tra i fenomeni, e *qual'è* la circostanza determinante: e *non è che* l'esperienza che può illuminarci su questi punti » (2). Bisogna per altro distinguere i puri dati dell'esperienza da quei concetti che dall'esperienza sono presupposti; è vero che soltanto l'esperienza può dirci quali fenomeni stanno in rapporto di dipendenza, ma il concetto di « dipendenza » non è un puro dato dell'esperienza; l'esperienza potrà indicarci un parallelismo nel modo di svolgersi di parecchie serie di fenomeni, ma non la dipendenza funzionale di una dall'altra. Dagli esempî riferiti dal MACH è resa evidente l'impossibilità di ricavare tutta la scienza dai puri dati sensoriali: la legge d'inerzia, formulata così: « ogni forza determina un'accelerazione » e quindi dove non c'è forza non deve prodursi cangiamento di velocità; e la definizione dinamica della massa: « i corpi determinano gli uni sugli altri delle accelerazioni, e quando le accelerazioni determinate da due corpi in reciproco scambio d'azione sono uguali, le loro masse sono uguali. Non critichiamo qui il fatto che la legge è generale mentre i dati dell'esperienza sono particolari, perchè il MACH potrebbe rispondere che la generalizzazione è fatta a scopo economico; ma osserviamo: la « forza », la « determinazione » dell'accelerazione, sono forse qualche cosa di sensibile?

(1) MACH, *Meccanica* (trad. ital.), pp. 279-80.
(2) MACH, *Meccanica* (trad. ital.), pp. 274-75.

l' « azione reciproca » è un dato dell'esperienza pura, o non è piuttosto un concetto che indica già un'integrazione dell'esperienza operata dal pensiero?

Se scendiamo ancor più ai particolari, sempre più dobbiamo riconoscere l'impossibilità di restringere la considerazione della scienza ai semplici dati sensoriali; tuttavia dobbiamo limitarci a poche osservazioni, perchè un esame accurato richiederebbe che anticipassimo le conclusioni a cui giungeremo nel corso del nostro lavoro. Dati i concetti del fenomenismo radicale, per determinare le varie forme di energia non possiamo fondarci che sulle differenze nelle qualità sensoriali (calore, luce, movimento, suono); ma da un lato, come vedremo più oltre, non vi è una forma di energia qualitativamente diversa dalle altre che corrisponda alle qualità sensoriali uditive, dall'altro vi sono due forme di energia - l'energia elettrica e l'energia chimica - che non sono un dato dei sensi, e la cui conoscenza si fonda per noi sui loro prodotti di trasformazione in altre forme di energia che hanno un corrispondente sensoriale. Il Mach dunque non potrebbe parlare di energia elettrica; infatti considera l'espressione « corpo elettrizzato » soltanto come un mezzo comodo per richiamare alla mente un gran numero di fenomeni analoghi; ed aggiunge che bisogna riconoscere « che non v'ha un fatto *elettrico* specifico; che ogni fatto di tal genere, ad esempio, può essere considerato come un fatto *chimico* o *termico;* o piuttosto che tutti i fatti fisici si compongono, alla fin fine, degli stessi elementi sensoriali (colori, pressioni, spazio, tempo); che con l'espressione « elettrico » ricordiamo soltanto una forma speciale, nella quale abbiamo dapprima imparato a conoscere i fatti » (1). Dunque non si dovrebbe parlare di energia elettrica sol perchè non è qualche cosa di percettibile. Ma se noi chiamiamo elettrici un gruppo di fenomeni, è perchè ci presentano un decorso e dei rapporti che non si possono identificare col decorso coi rapporti che presentano gli altri fenomeni; chè anzi, se fosse da ricercare l'economia del pensiero, non avremmo dovuto fare una categoria speciale per i fenomeni elettrici e avremmo dovuto distribuirli nelle categorie di fatti percettibili. Il meccanicismo sarebbe allora la forma più economica della rappresentazione dei fatti, mirando a ridurli tutti ad una sola categoria; ma il

(1) Mach, *Analisi delle sensazioni* (trad, ital.), pag. 381.

Mach non ammette il meccanicismo, perchè egli non può considerare alcune qualità sensoriali come « segno » di altre, deve porle tutte allo stesso livello e riconoscere quindi come irriducibili certe forme di energia; ma non è certo un principio economico che lo sforza a questo riconoscimento. Lo stesso si può dire quanto all'energia chimica, che, contrariamente a quanto il Mach afferma, non corrisponde a nessuna qualità sensoriale: in un processo di analisi o di sintesi chimica non percepiamo se non variazioni di temperatura, di colore, di volume, di pressione; eppure consideriamo i fatti chimici come una classe ben distinta di fenomeni. E se non ammettessimo un'energia chimica (che, si noti, rispetto alle altre forme di energia è un'energia *potenziale*, dunque non certo percettibile), dovremmo dire che l'energia p. es. termica o luminosa sviluppata in una combinazione è una creazione di energia; con danno, tra l'altro, dell'economia del pensiero.

Se dunque il fenomenismo radicale cade in tante difficoltà e contraddizioni, se lascia insoluti i quesiti che hanno la maggiore importanza pel pensiero, dobbiamo concludere che il problema dell'origine delle differenze qualitative non può essere dichiarato illusorio o mal posto; d'ogni parte il problema che si sperava di avere eliminato si riaffaccia e chiede di essere studiato e risolto. Nelle difficoltà in cui cadono il realismo ingenuo e il fenomenismo radicale noi troviamo espressa l'antinomia fondamentale che fa sorgere il problema dell'origine delle differenze qualitative: da un lato, infatti, è necessario ammettere una realtà esterna al soggetto, dall'altro non è possibile caratterizzare la realtà esterna per mezzo delle qualità sensoriali. Per avvicinarci alla soluzione di quest'antinomia, è necessario prendere come punto di partenza i risultati di quelle scienze che mettono capo appunto a questi due problemi: 1° come dev'essere concepita la realtà esterna perchè siano possibili i fenomeni che noi constatiamo nel mondo della nostra esperienza? 2° quale contributo reca la struttura e la funzionalità del nostro organismo alla formazione del mondo delle qualità sensoriali? Come dunque vi sono delle condizioni fisiche e delle condizioni fisiologiche dell'origine delle qualità sensoriali, dai risultati della fisica e della chimica da un lato, della fisiologia dall'altro dobbiamo prendere le mosse per tentare di risolvere il nostro problema.

Ma da una parte la fisica e la chimica, dall'altra la fisio-

logia fanno sorgere problemi essenzialmente metafisici. La fisica e la chimica infatti, non uscendo dal mondo fenomenico, se ci offrono sulla natura della realtà quelle indicazioni che possiamo trarre dal comportamento dei fenomeni naturali, dalle leggi del loro svolgimento e dalle loro relazioni, non ci dicono poi se e in qual maniera possa essere concepita la realtà esterna indipendentemente dalla rappresentazione che ce ne danno i nostri organi sensoriali; onde nasce il problema, che cosa corrisponda oggettivamente a quella molteplicità qualitativa che costituisce il mondo della nostra esperienza. La fisiologia poi, se ci indica quali sono le condizioni organiche che rendono possibile l'insorgenza delle differenti qualità sensoriali, non ci può rivelare la natura di quel soggetto cosciente in cui le azioni esterne acquistano l'aspetto di qualità sensoriali, e fa sorgere il problema, come debba essere concepito il soggetto perchè sia possibile la trasformazione delle azioni esterne nelle qualità sensoriali. Pur sapendo di inoltrarci in un campo di ben difficile esplorazione, e convinti del valore puramente ipotetico che possono avere le teorie metafisiche, cercheremo nella Conclusione di formulare la soluzione che ci sembra più soddisfacente di questi problemi.

PARTE PRIMA

LE TEORIE FISICHE

I. Svolgimento storico.

L'antitesi tra la concezione meccanica e la concezione qualitativa della natura si è avuta in ogni tempo nelle investigazioni filosofiche e scientifiche; tra l'una e l'altra ha sempre oscillato il pensiero. Nell'antichità classica, alle concezioni qualitative dei primi fisici ilozoisti si oppose il meccanicismo degli atomisti, e il nuovo meccanicismo della scuola epicurea sorse in opposizione alla fisica qualitativa di ARISTOTELE. Questa domina nelle scuole medioevali, mentre il sorgere della scienza moderna coincide col rinnovamento della concezione meccanica; viceversa, le recenti teorie energetiche tornano ad orientare la fisica verso una concezione qualitativa. Prima dunque di esporre la teoria meccanica della natura quale si è costituita e sistemata negli ultimi tempi, è opportuno riassumere i concetti fondamentali della fisica aristotelica, sia perchè delle antiche concezioni qualitative è la più compiuta, sia perchè principalmente in opposizione ad essa è sorto il moderno meccanicismo.

A prima vista potrebbe sembrare che la fisica aristotelica non fosse una concezione qualitativa, perchè a differenza di EMPEDOCLE, le cui idee ARISTOTELE esplicitamente combatte, non ammette l'esistenza di elementi originariamente differenti ed incapaci di essere trasformati l'uno nell'altro. La materia per sè presa non ha dunque specificazioni, è assolutamente indeterminata (*τὸ ἀόριστον*), e le proprietà, le qualità della materia sono *stati* di essa. Ma in realtà la concezione aristotelica è qualitativa, perchè non ammette che esista una materia senza qualità, una sostanza a cui si aggiungano le determinazioni ma che possa sussistere anche indeterminata; la materia solo per

astrazione può essere distinta dalla forma, cioè dal complesso delle sue proprietà; la forma è dunque essenziale alla materia, è ciò che dà compimento alla materia, ciò che la rende veramente reale: è l'*ἐντελέχεια*. La materia, essendo per sè indeterminata, è capace di ricevere tutte le forme; di fronte alla forma, dunque, la materia è la pura *possibilità*, ciò che ha la capacità, la potenza (*δύναμις*) di assumere queste o quelle proprietà; la forma è ciò che dà attualità ad una delle infinite possibilità che la materia astratta conteneva, è atto (*ἐνέργεια*). Ogni essere finito, risultando di una materia in cui è impressa una data forma, è dunque l'attuazione di una possibilità; la sua realtà sta in questa attuazione. Di qui si vede che ciò che costituisce l'essenza delle cose è, secondo Aristotele, la forma; e poichè la forma di una cosa è il complesso delle sue qualità, la fisica aristotelica è una fisica qualitativa.

Ogni cangiamento è cangiamento di qualità; esso consiste in un mutamento di forma, in questo senso: che un dato stato, che era prima contenuto nella materia come semplice possibilità, viene ad essere attuato; il cangiamento consiste in un passaggio dalla potenza all'atto, in una realizzazione di ciò che era potenziale; e poichè nello stesso tempo lo stato attuale viene soppresso, così il cangiamento è non solo un passaggio dalla potenza all'atto, ma anche un passaggio inverso dall'atto alla potenza. Al cangiamento Aristotele ha dato il nome generico di *movimento;* d'onde si vede quanto più largo significato avesse presso di lui che presso di noi questo concetto. Il movimento è l'attuazione, il compimento di un ente che era prima pura potenza: « *Ἡ τοῦ δυνάμει ὄντος ἐντελέχεια, ᾗ τοιοῦτον, κίνησις ἐστίν* » (*Phys.*, III, 1, 201 *a*); ma poichè in quattro categorie può verificarsi il cangiamento, così quattro sono le specie di movimento. Nella categoria della quantità, il cangiamento consiste nell'aumento e nella diminuzione (*αὔξησις καὶ φθίσις*); nella categoria delle qualità, nel mutamento di stato (*ἀλλοίωσις κατὰ τὸ πάθος*); nella categoria dello spazio, nello spostamento locale (*φορά*); infine nella categoria della sostanza, il cangiamento consiste nell'originarsi e distruggersi, nel nascere e nel morire (*γένεσις καὶ φθορά*) (1). Vero è che in qualche luogo Aristotele dice che il movimento locale sta alla base di tutti gli

(1) Aristotele, *Metaph.*, XII (*Λ*), cap. 2, 1069 b. Nella Fisica (V, cap. 3), com'è naturale, cita tre sole specie di movimento, lasciando cioè il cangiamento nella categoria della sostanza.

altri; ma probabilmente intende dire soltanto questo, che anche il cangiamento quantitativo, il cangiamento qualitativo e il cangiamento sostanziale sono sempre accompagnati da un qualche mutamento spaziale. Certo è che ARISTOTELE è ben lungi dallo spiegare i fenomeni per sole ragioni meccaniche; la natura della realtà non si risolve nei semplici elementi meccanici: chi voglia abbracciarla nella ricchezza delle sue determinazioni deve considerarne anzitutto l'aspetto qualitativo; la spiegazione dei processi fisici non può aversi altrimenti.

La parola «qualità», dice ARISTOTELE (*Metaph.*, V (*Δ*), cap. 14) può prendersi in due sensi. In un primo senso indica la proprietà essenziale per cui una cosa si distingue da un'altra: l'essere bipede è una qualità dell'uomo, l'essere quadrupede è una qualità del cavallo; anche gli enti geometrici ed aritmetici, essendo caratterizzati da alcune proprietà essenziali, hanno in questo primo senso delle qualità; la qualità esprime così la differenza nella sostanza (*διαφορὰ τῆς οὐσίας*). In un secondo senso, le qualità sono gli stati delle sostanze soggette al cangiamento (*ὅσα πάθη τῶν κινουμένων οὐσιῶν*), le modificazioni che i corpi subiscono in seguito ai processi fisici, i *modi* delle sostanze: tali sono il caldo e il freddo, la bianchezza e la nerezza, la leggerezza e il peso, insomma tutte quelle cose che fanno sì che si possa dire che i corpi cangino (*θερμότης καὶ ψυχρότης, καὶ λευκότης καὶ μελανία, καὶ βαρύτης καὶ κουφότης, καὶ ὅσα τοιαῦτα, καθ' ἃ λέγονται καὶ ἀλλοιοῦσθαι τα σώματα μεταβαλλνότων*); anche le qualità morali fanno parte di questa classe di *modi* (*ἀρετὴ δὲ καὶ κακία τῶν παθημάτων μέρος τι*). Le qualità di cui si occupa la fisica, naturalmente, sono appunto le proprietà dei corpi soggette al cangiamento, gli stati della materia. P. es., come spiegherà un aristotelico il fenomeno della fusione del ghiaccio? Il ghiaccio è uno stato della materia; in esso lo stato di acqua esiste solo potenzialmente, in quanto il ghiaccio possiede la capacità, in date condizioni, di assumere lo stato di acqua; quando il ghiaccio fonde, quello stato che prima era in lui potenzialmente, si attua: il ghiaccio diventa acqua (1). La spiegazione del fenomeno è dunque trovata non tanto nelle *condizioni* che lo determinano, quanto nel fatto che esso consiste in un passaggio dalla potenza all'atto di uno stato della materia.

Quattro sono le proprietà fondamentali della materia: il

(1) V. DUHEM, *L'évolution de la mécanique* (Paris, 1905), p. 9.

caldo e il freddo, l'umido e l'asciutto; esse possono combinarsi in quattro maniere, cioè: caldo-umido, caldo-asciutto, freddo-umido, freddo-asciutto (essendo impossibili le combinazioni caldo-freddo e umido-asciutto); queste combinazioni di proprietà corrispondono ai quattro elementi, cioè, rispettivamente, all'aria, al fuoco, all'acqua, alla terra. Ecco come la teoria dei quattro elementi, che Aristotele aveva incominciato col combattere nella forma in cui l'aveva presentata Empedocle, finisce col ritornare sotto un nuovo aspetto; essa ha sulla teoria empedoclea il vantaggio di non escludere la trasformabilità di un elemento in un altro mediante il cangiamento delle proprietà; mentre Empedocle, ammettendo che gli elementi fossero immutabili, era costretto a dimostrare come ogni cangiamento consistesse nelle diverse combinazioni di questi elementi che pur dovevano conservare le loro proprietà originarie.

Come si vede, la concezione aristotelica rimane, assai più delle teorie meccaniche, vicina ai dati dell'esperienza; infatti in ogni processo fisico quello che noi direttamente osserviamo è un cangiamento qualitativo. Questo offre, rispetto al meccanicismo, il vantaggio di non suscitare il bisogno di sforzare i dati sperimentali per accordarli con teorie preconcette: l'analisi dei processi fisici non è spinta al di là di ciò che si esperimenta, cioè appunto il cangiamento qualitativo. Ma la dottrina aristotelica non voleva contenere soltanto l'applicazione di alcuni principî metodologici al mondo fenomenico: essa voleva trascrivere i dati dell'esperienza in termini metafisici, e andava così incontro a due difficoltà. In primo luogo, l'aristotelismo scambia le qualità sensoriali colle qualità oggettive, considera come proprietà delle cose i dati dei nostri sensi; così ricade nel realismo ingenuo, di cui la filosofia di Aristotele può dirsi la più perfetta sistemazione e interpretazione metafisica. Aristotele, insomma, rimane sul terreno del dogmatismo della filosofia classica, ritenendo che i nostri organi sensoriali possano rivelarci la realtà come è in sè: per questo quelle percezioni che non è possibile considerare corrispondenti a realtà sono dette « errori » dei sensi. Le stesse critiche, dunque, che la scepsi rivolgeva al realismo ingenuo potevano rivolgersi contro la fisica aristotelica, la quale non poteva prevalere quando fu dimostrata la soggettività delle qualità che, come il caldo e il freddo, da Aristotele erano ritenute come fondamentali forme della materia. In secondo luogo, la fisica ari-

stotelica superava l'esperienza perchè considerava le forme come principî esplicativi dei fenomeni. Se ARISTOTELE si fosse limitato ad osservare il fatto del cangiamento qualitativo, lasciando possibile l'ulteriore ricerca delle condizioni che nei singoli casi determinano l'insorgenza di questa o quella qualità, la sua fisica avrebbe potuto anche accordarsi con una ipotesi meccanicistica sulla natura del reale; ma per ARISTOTELE le forme non sono qualche cosa che si « produce » in determinate condizioni, ma esistono *ab aeterno* come tali, sono esse che, passando dalla potenza all'atto, determinano il cangiamento; le forme sono maniere d'essere della realtà, sono consustanziate colla realtà, sono, come le disse la Scolastica, « forme sostanziali ». Quando, per riprendere l'esempio citato, gli aristotelici dicevano che la fusione del ghiaccio consiste nell'attuazione dello stato liquido contenuto in potenza nel ghiaccio, non intendevano dare soltanto una « descrizione » - d'altronde esatta - del fenomeno in linguaggio metafisico, ma intendevano fornirne una « spiegazione »; il ghiaccio si trasforma in acqua *perchè* contiene la potenzialità dell'acqua, ha la virtù di attuare lo stato liquido; il magnete attira il ferro perchè ha la virtù attrattiva, e così via. Le qualità sono considerate come forze o virtù occulte, introdotte ad ogni passo per la spiegazione dei fenomeni fisici.

Ma non era spiegazione che potesse appagare il bisogno di razionalizzare la natura, perchè le forze occulte, le forme sostanziali, erano ammesse come dati ultimi, inesplicabili, misteriosi, impulsi originarî incapaci di essere risoluti in termini razionali. Dal profondo bisogno di trovare una spiegazione razionale dei fenomeni sorse la fisica moderna; e la forma che assunse fu quella di una concezione meccanica. Infatti, che cosa vi è nella realtà sperimentabile che possa essere assimilato dal pensiero? Soltanto ciò che vi è di quantificabile, soltanto ciò che è immerso in quella rete di rapporti che il pensiero stesso stabilisce tra i fenomeni; e ciò che vi è di misurabile nel mondo dell'esperienza è ciò che è connesso collo spazio e col tempo, cioè il movimento come spostamento locale, la φορά aristotelica. Ecco come dal bisogno di razionalizzare la natura nasce la concezione meccanica: ogni elemento qualitativo, ogni forza occulta, ogni forma sostanziale non spiega nulla, è anzi il punto di arresto della risoluzione della realtà in termini razionali; se si vuol condurre questa risoluzione fino in fondo, è

necessario ammettere che ciò che vi è di oggettivo in tutti i fenomeni sia un movimento, che tutti i processi fisici siano, in sè, processi meccanici: questo principio non vuole, come non aveva voluto la teoria aristotelica, essere soltanto metodologico: il meccanicismo ha intento realistico, considera come reale e solo reale l'aspetto quantificabile della realtà; mentre l'aspetto qualitativo, essendo refrattario alla traduzione diretta in termini matematici, non può essere reale.

Se non che, la quantità, come vedemmo, è rapporto, e un rapporto presuppone degli elementi concreti: non si può scambiare un rapporto con la realtà. Ora, il movimento spaziale come semplice spostamento locale reciproco di due corpi, è un mutamento nei rapporti di posizione e distanza; questo concetto *foronomico* del movimento spaziale non era sufficiente per affermare l'oggettività del movimento; le critiche degli Eleati lo avevano colpito ed avevano spinto Aristotele ad allargare il concetto di movimento sì da comprendervi il cangiamento qualitativo. Per porre il movimento spaziale nel fondo della realtà bisognava considerarlo non solo come quantità, ma anche come elemento qualitativo o intensivo; bisognava trasformare il concetto foronomico nel concetto *dinamico* del movimento. Fu questa l'opera di Galileo, che, per essere il fondatore della dinamica, è anche il fondatore della concezione meccanica della natura (1).

L'analisi del concetto di movimento fatta da Galileo è oltremodo interessante ed istruttiva. Preceduto in questa da Giovan Battista Benedetti (1530-1590), che, combattendo l'idea di Aristotele che il movimento rettilineo non può essere continuato indefinitamente come il movimento curvilineo, mostrò come la continuità del moto rettilineo si possa ammettere quando si consideri il moto dinamicamente - come la forza che determina il movimento e che non si distrugge quando il movimento si arresta - Galileo (1564-1642) notò che nell'oscillazione del pendolo si danno due momenti (gli estremi dell'oscillazione) in cui il movimento come spostamento effettivo

---

(1) È merito del Lasswitz l'aver mostrato come per opera di Benedetti e soprattutto di Galileo si sia introdotta nella scienza moderna la nozione del movimento come elemento intensivo della realtà (*Zur Rechtfertigung der kinetischen Atomistik* in *Vierteljahrsschrift für wissenschaftliche Philosophie*, IX, S. 137 sgg.; *Galilei's Theorie der Materie*, id., XII, S. 458-476; *Geschichte der Atomistik vom Mittelalter bis Newton* (Hamburg n. Leipzig, 1890), vol. II, pp. 3-55.

si annulla, ma rimane nel corpo la *tendenza* al movimento, la capacità di compiere una nuova oscillazione, senza la quale nessun movimento effettivo sarebbe possibile. A questa tendenza al movimento GALILEO diede il nome di *momento,* concetto assolutamente nuovo nella scienza e nella filosofia, definito come l'« impeto di andare al basso », come « quella virtù, quella forza, quell'efficacia, colla quale il motor muove. e il mobile resiste, la qual virtù depende non solo dalla semplice gravità, ma dalla velocità del moto, dalle diverse inclinazioni degli spazî, sopra i quali si fa il moto, perchè più fa impeto un grave descendente in uno spazio molto declive, che in uno meno, e insomma qualunque si sia la cagione di tal virtù, ella tuttavia ritien nome di momento » (1). Qui dunque non abbiamo più un elemento geometrico: qui abbiamo un processo che da un lato è qualche cosa di qualitativo e può quindi essere assunto come reale, dall'altro è suscettibile di quantificazione per mezzo dei rapporti di spazio e di tempo e quindi formulabile in termini razionali; il movimento, concepito dinamicamente, è il punto d'incontro della qualità e della quantità, del reale e del razionale; dunque doveva essere considerato come la sola e la vera realtà, se la realtà dev'essere assimilabile dal pensiero.

Da questo concetto, col quale il meccanicismo era fondato, derivano due importantissime conseguenze: anzitutto, che il reale può essere colto mediante la percezione sensoriale, o, per lo meno, che gli elementi della realtà vanno concepiti in maniera analoga ai dati della percezione esterna: il movimento infatti è un dato dei sensi; e se in certi casi invece che movimento percepiamo altre qualità sensoriali, ciò dipende solo

---

(1) GALILEO, *Discorso al Serenissimo Don Cosimo II Granduca di Toscana, intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono.* Questo concetto di momento ha reso possibile a GALILEO l'introduzione (sua vera gloria) di un altro concetto che ha avuto poi un posto capitale nella meccanica: il concetto di *accelerazione.* Appena si considera il movimento come elemento qualitativo, come la forza che determina lo spostamento locale, è data la possibilità di tener conto dell'aumento della velocità di un istante minimo di tempo $\left(\frac{dv}{dt}, \text{ cioè } \frac{d^2s}{dt^2}\right)$. Viene così risolto in maniera semplicissima, dal punto di vista qualitativo, il problema dell'accrescimento del continuo, problema che fin quando si rimane nella concezione quantitativa in cui rimasero gli Eleati, è insolubile. Le stesse considerazioni, come accenneremo or ora, applicate da GALILEO al problema della materia, condussero ad analoghi risultati. V. LASSWITZ, loc. cit.; MACH, *Meccanica* (trad. ital.), pp. 132-138.

dalla struttura degli organi percipienti e dal loro limitato potere: un essere a cui la costituzione fisica concedesse una vista e un tatto di squisita sensibilità, dovrebbe potere avere la rivelazione della realtà nella sua essenza. In secondo luogo, poichè i nostri sensi non ci fanno conoscere solamente estensioni e movimenti, ma anche molte altre qualità sensoriali, è evidente che non tutti i dati dei sensi debbono essere posti allo stesso livello: le qualità sensoriali che sono oggetto di misurazione diretta, come appunto l'estensione e il movimento, sono fornite di un carattere di oggettività che manca alle altre qualità sensoriali. Il criterio della misurabilità dà il modo di fare questa distinzione di valore tra i due gruppi di qualità; nasce così la celebre distinzione di *qualità primarie* e *qualità secondarie,* quantificabili le prime e quindi esprimibili in termini di pensiero, e perciò oggettive, incapaci le altre di essere razionalizzate e perciò soggettive; tutte le differenze tra le qualità secondarie debbono ridursi a differenze quantitative delle qualità primarie o meccaniche. « Pertanto io dico, che ben sento tirarmi dalla necessita, subito che concepisco una materia o sostanza corporea, concepire insieme ch'ella è terminata o figurata di questa o quella figura, ch'ella in relazione ad altre è grande o piccola, ch'ella è in questo o quel luogo, in questo o quel tempo, ch'ella si muove o sta ferma, ch'ella tocca o non tocca un altro corpo, ch'ella è una, poca o molta, nè per veruna immaginazione posso separarla da queste condizioni; ma ch'ella debba essere bianca o rossa, amara o dolce, sonora o muta, di grato o ingrato odore, non sento farmi forza alla mente di doverla apprendere da cotali condizioni necessariamente accompagnata: anzi, se i sensi non ci fussero scorta, forse il discorso o l'immaginazione stessa non v'arriverebbe giammai. Per lo che io vo pensando, che questi sapori, odori, colori ecc., per la parte del suggetto nel quale ci pare che riseggano, non sieno altro che puri nomi, ma tengano solamente lor residenza nel corpo sensitivo; sicchè, rimosso l'animale, siano levate ed annichilate tutte queste qualità, tuttavolta però che noi, siccome gli abbiamo imposti nomi particolari e differenti da quegli degli altri primi e reali accidenti, volessimo credere ch'esse ancora fussero veramente e realmente da quelli diverse » (1).

---

(1) GALILEO, *Il saggiatore*, cap. XXIII.

La materia è così concepita come essenzialmente omogenea. Ma è appunto questa concezione che fa nascere la domanda, d'onde vengano le differenze qualitative che presentano i corpi ai nostri sensi. GALILEO rimane ancora alla distinzione dei quattro elementi, che tuttavia in lui hanno altro significato che presso gli antichi. La materia, identica in tutti i corpi, va poi risolvendosi in alcuni in particelle minime, delle quali alla lor volta alcune, più leggiere dell'aria, salgono in alto e costituiscono l'elemento fuoco: sono queste che, agendo sull'organo dell'olfatto, determinano le sensazioni olfattive; altre, più pesanti dell'aria, scendono al basso e costituiscono l'elemento acqua, mentre, venendo in contatto con la lingua e col palato, generano le sensazioni gustative. La materia non disgregata, invece, costituisce l'elemento terra e provoca le sensazioni di contatto, pressione, resistenza; l'aria infine, coll'incresparsi in minutissime onde, muove la membrana del timpano e provoca le sensazioni uditive. Le differenze tra i quattro elementi non sono dunque di forme sostanziali, ma di « grandezze, figure, moltitudini, e movimenti tardi o veloci ». Infine anche le sensazioni termiche sono determinate dal movimento delle particelle minime dell'elemento fuoco, velocissime, le quali, per la loro piccolezza penetrano facilmente in tutti i corpi e li dissolvono, mentre venendo a contatto con la nostra pelle fanno sorgere le sensazioni di calore. « Ma che oltre alla figura, moltitudine, moto, penetrazione e toccamento, sia nel fuoco altra qualità, e che questa sia caldo, io non lo credo altrimenti, e stimo che questo sia talmente nostro, che rimosso il corpo animato e sensitivo, il calore non resti altro che un semplice vocabolo » (1).

Questa teoria della natura del fuoco suggerisce a GALILEO la sua elegante, per quanto primitiva, teoria della liquefazione e solidificazione dei corpi: quando un metallo è posto sul fuoco, le particelle minime di questo, che va serpendo nei piccoli interstizî tra le particelle del metallo, finiscono col vincere la forza che le teneva unite, - quella forza che fu poi detta di coesione, e che GALILEO chiama « la ripugnanza naturale al vuoto », *horror vacui*, - le separano, ed amplificano i pori del corpo; rimanendo così degli spazî vuoti entro il metallo, le

(1) GALILEO, *Il saggiatore*, cap. XXIII. Rimangono senza spiegazione le sensazioni visive, perchè ancora non si è presentata la teoria dell'etere. Riconoscendo la difficoltà dell'argomento, GALILEO dice prudentemente: « lo pongo in silenzio ».

particelle di fuoco vanno a riempirli: si forma così un corpo le cui parti sono rese più libere e quindi più mobili, sicchè la loro massa diventa fluida, scorrevole, plasmabile. Il raffreddamento e la solidificazione consistono in ciò, che gli elementi ignicoli si volatilizzano e fuggono lasciando vuoti di nuovo gli spazî tra le particelle del metallo, onde queste per la solita ripugnanza al vacuo siriavvicinano e tornano a costituire l'aggregato solido per l'attaccamento reciproco che le tiene unite.

Per spiegare l'origine del cangiamento qualitativo veniva così data la maggiore importanza allo stato di aggregazione dei corpi; una teoria atomica era dunque meglio di ogni altra adatta a spiegare, da questo punto di vista, l'origine delle differenze qualitative. Galileo professava una teoria atomica, ma com'è diversa tanto dall'antica quanto da quella che trionfò nella scienza moderna, ci limiteremo ad accennarla brevemente.

Uno dei problemi che più affaticarono la mente di Galileo fu la spiegazione dell'origine del continuo della materia. Poichè, così ragiona, se si ammette che la materia sia divisibile in un numero finito di atomi, ne viene che è impossibile aumentare il volume di un solido se non con l'interposizione di altrettanti spazî vuoti tra gli atomi; e se il volume venisse aumentato immensamente (ciò che l'esperienza ci mostra possibile), bisognerebbe ammettere che gli spazî tra questi atomi fossero molto grandi, relativamente alla grandezza degli atomi, e divisibili alla lor volta; allo stesso modo che se dividiamo un segmento di linea in un numero finito di parti (« parti quante »), non ci è possibile disporle in una lunghezza maggiore se non interponendovi spazî vuoti e quindi divisibili. Ma così la materia è discreta, e dal discreto non nasce il continuo. Per uscire dalla difficoltà, Galileo pensa che la materia sia divisibile in un numero non determinato di atomi (« atomi non quanti »), infinitamente piccoli, e che quindi siano infinitamente piccoli anche gli spazî che s'interpongono tra gli atomi (1). La soluzione incontra certo molte difficoltà; ma per Galileo è il solo modo di concepire l'atomo come veramente indivisibile, e quindi come indivisibile anche lo spazio interatomico. L'atomo è dunque come il punto matematico, è ciò di cui aumenta il continuo materiale, come l'accelerazione era ciò di cui aumenta il continuo della velocità in un istante di tempo.

---

(1) Galileo, *Dialoghi di Scienza nuova*, giornata 1ª.

Il *momento* e il *punto* sono dunque i termini a cui giunge l'analisi condotta da Galileo dei concetti di movimento e di materia. Il suo genio profondo vide, ben meglio dei fisici posteriori, che se si vuole oggettivare il movimento bisogna tener conto della forza, e che se si vuol concepire come reale la materia bisogna negarle l'estensione. Siamo così ai confini di un dinamismo che risolve le realtà in centri di forza. Se i germi di queste teorie fossero stati sviluppati, probabilmente le teorie della fisica moderna avrebbero assunto altro indirizzo. Ma i successori di Galileo si rifiutarono di seguire in questi due punti di capitale importanza il grande maestro; e mentre Cartesio tornava al concetto puramente foronomico del movimento, gli atomisti restituivano l'estensione agli elementi ultimi della realtà. La concezione meccanica trova ora la sua più rigorosa espressione nei due indirizzi che dominano nel primo periodo della scienza moderna: il cartesianismo e l'atomismo.

Il bisogno di razionalizzare la natura si fa sentire in Cartesio (1596-1650) forse più che in ogni altro moderno scienziato. La scienza, qualunque sia l'oggetto a cui particolarmente si rivolge, dev'essere un sistema di rapporti collegati logicamente e dedotti da un unico principio; ogni elemento che non possa essere colto col pensiero mediante idee chiare e distinte dev'essere bandito dalla realtà. Dapprima Cartesio espulse ogni determinazione qualitativa dalla geometria, togliendone il concetto di figura e riducendola a scienza dei rapporti di distanza tra i punti; così fu il fondatore della geometria analitica, la quale tuttavia non soppiantò le geometrie qualitative, ma si sviluppò al lato di queste come ramo speciale della scienza geometrica. Così anche la scienza della natura fu ridotta a scienza dei rapporti quantitativi, a un ramo della matematica universale. Il procedimento seguito da Cartesio è istruttivo per mettere in evidenza le esigenze intellettuali da cui nacque la concezione meccanica. Spingendo alle ultime conseguenze il principio della soggettività dei dati dei sensi, Cartesio afferma che soltanto mediante l'intelletto possiamo apprendere la natura della realtà; allora ci accorgiamo «*naturam materiae, sive corporis in universum spectati, non consistere in eo quod sit res dura, vel ponderosa, vel colorata, vel alio aliquo modo sensus afficiens; sed tantum in eo, quod sit res extensa in longum, latum et profundum*» (1).

(1) Cartesio, *Principia philosophiae*, pars. II, art. 4.

Dunque la determinazione della natura della materia come estensione nelle tre direzioni dello spazio, e quindi in ultimo l'identificazione della natura esterna collo spazio, dipende dal bisogno di porre nella realtà soltanto ciò che è traducibile senza residuo in termini razionali, cioè quantificabile; anzi, la realtà è la quantità stessa, da cui noi la distinguiamo solo per comodità, come solo per comodità distinguiamo il numero dalla cosa numerata: « *Quippe quantitas a substantia extensa in re non differt, sed tantum ex parte nostri conceptus, ut et numerus a re numerata* » (1). Ciò posto si può dire che nella fisica cartesiana si applichi più rigorosamente che in qualsiasi altra l'ideale della riduzione delle differenze qualitative alle differenze quantitative. Che se alcuno credesse che l'estensione stessa sia un elemento qualitativo, Cartesio risponderebbe che l'estensione non è che quantità quando la si prende nel senso della geometria analitica: infatti in tal caso diventa un complesso di rapporti i cui valori sono determinati in funzione del sistema di coordinate che (arbitrariamente) si sceglie. Non facciamo qui la critica di questa teoria; per ora osserviamo solo che questa riduzione della sostanza corporea a quantità deve pure avere un limite, se non si vuole ridurre la materia ad una determinazione del pensiero e quindi sopprimere il dualismo tra la *res extensa* e la *res cogitans*. D'altro lato si dovevano incontrare le maggiori difficoltà quando si voleva mostrare, seguendo un metodo analitico, come da una realtà omogenea e fornita delle sole proprietà geometriche nascessero tutte le differenze qualitative.

Il metodo analitico della fisica cartesiana è dimostrato dallo svolgimento dei principî, che l'uno nell'altro si concatenano con rigore logico, indipendentemente da ogni verificazione sperimentale. Posto che estensione e corpo s'identificano, ne segue che non c'è spazio vuoto, perchè spazio vuoto equivarrebbe a spazio inesteso, a spazio senza spazio, il che è una contraddizione logica (2); inoltre, sempre per necessità logica, lo spazio

(1) Cartesio, *Principia philosophiae*, pars. II, art. 8.

(2) « ..... il implique contradiction en ma conception de dire qu'un espace soit tout à fait vide, ou que le néant soit étendu, ou que l'univers soit terminé, parce qu'on ne saurait feindre ou imaginer aucunes bornes au monde au delà desquelles je ne conçoive de l'étendue; et je ne puis concevoir un muid tellement vide, qu'il n'y ait aucune extension dans sa cavité, et dans lequel par conséquent il n'y ait pas de corps; car là où il y a de l'extension, là aussi nénecessairement il y a un corps ». (Lettre VI, t. II, p. 33).

dev'essere illimitato, perchè non può essere limitato se non con altro spazio; poichè noi pensiamo lo spazio come infinito, e la sostanza corporea s' identifica collo spazio, è chiaro che la sostanza corporea è infinita. Le proprietà della materia sono le proprietà dello spazio, cioè la divisibilità all' infinito (onde non esistono atomi) e la mobilità. Il movimento può essere considerato da Cartesio come una proprietà dello spazio, perchè consiste soltanto nello spostamento che ammette anche la geometria analitica (p. es. passando da un sistema di coordinate a un altro): « *Motus autem (scilicet localis, neque enim ullus alius sub cogitationem meam cadit; nec etiam ullum alium in rerum natura fingendum puto) motus, inquam, ut vulgo sumitur, nihil aliud est quam actio, qua corpus aliquod ex uno loco in alium migrat* » (1). Il movimento è la traslazione di un corpo dalla vicinanza di quelli che lo toccano immediatamente alla vicinanza di altri; è una semplice variazione di rapporto, e quindi per sua natura relativo: un corpo può essere considerato in movimento e in riposo nello stesso tempo, a seconda del punto di riferimento che si assume; e non c' è più forza in un corpo in moto che in uno in riposo: è un pregiudizio « *quod plus actionis ad motum requiri arbitremur, quam ad quietem* ». Così viene abolita ogni forma di attività o di energia e si torna del tutto al concetto foronomico del movimento.

Con Cartesio si rende esplicita un' altra delle esigenze fondamentali a cui rispondeva la concezione meccanica: quella di trovare nel fondo della realtà, al di là di tutti i cangiamenti che l' esperienza ci mostra, un invariante universale, qualche cosa che si conserva attraverso ogni modificazione, un elemento permanente in mezzo alle variazioni.

Quest' esigenza potrebbe in ultimo ridursi alla stessa esigenza della razionalità, giacchè la creazione dal nulla e la scomparsa nel nulla di qualche elemento della realtà sarebbero inesplicabili razionalmente; concepita l' evoluzione del mondo come lo sviluppo di un' equazione matematica, in cui tutti i termini posti al principio devono ritrovarsi alla fine, era naturale che si cercasse di porre nel fondo della realtà qualche cosa d' immutabile. L' espressione più rigorosa del fondamento oggettivo di tale permanenza si ha nel principio d' inerzia, che, intuito la prima volta da Leonardo da Vinci (1452-1519) e ri-

(1) Cartesio, *Principia philosophiae*, pars. II, art. 24.

preso, sebbene non enunciato, da GALILEO, assume per la prima volta in CARTESIO (*Princ. philos.*, pars II, art. 37) il valore di legge fondamentale della natura. La quale esprime che nessuna spontaneità è negli agenti naturali, perchè ogni spontaneità implicherebbe creazione di qualche cosa di nuovo e quindi alterazione dell'invariante universale. Ogni azione, dunque, è *esterna* agli agenti, è urto. Se anche l'induzione basata sui dati dell'esperienza (p. es. la continuazione del moto per un tempo sempre più lungo quanto più si diminuisce l'attrito) ha guidato alla scoperta della legge d'inerzia, certo essa trova il suo fondamento razionale nelle esigenze medesime da cui ha tratto origine la concezione meccanica. CARTESIO credè di poter porre l'invariante universale nella quantità di moto, trovando che in tempi uguali, l'azione di due forze è proporzionale al prodotto della massa per la velocità ($F : F' = MV : M'V'$). A noi ora non interessa se questa formula, contro cui tanto combattè LEIBNIZ, sia o no esatta (1); a noi importa qui notare come si sentisse l'esigenza di trovare un invariante universale e come soltanto l'aspetto quantitativo del mondo sperimentabile potesse rispondere a questa esigenza.

Quando dai principî generali scendeva ai fenomeni particolari, CARTESIO incontrava, com'è facile intendere, le più gravi difficoltà volendo seguire il metodo analitico delle matematiche; l'impossibilità di rimaner fedele a questo metodo, l'introduzione continua di principî che, solo apparentemente ricavati dai presupposti per deduzione, erano in realtà nuovi dogmi, e i continui furtivi ricorsi ai dati dell'esperienza, che mostrano l'inanità di una fisica non sperimentale e la superiorità del metodo galileiano su quello cartesiano, rendono di scarso interesse filosofico la costruzione del mondo presentata da CARTESIO. Di più, per spiegare in concreto l'origine delle differenze qualitative, CARTESIO non si parte più dalla materia indeterminata identica alla estensione, e che rimane quasi un *caput mortuum* nella fisica, ma è costretto a supporre che la sostanza corporea si sia originariamente divisa in vortici di particelle, dalle cui differenze di forma, di grandezza, di mo-

(1) La formula di CARTESIO è esatta se si considerano tempi uguali, come è esatta quella di LEIBNIZ ($F : F' = MV^2 : M'V'^2$) se si considerano percorsi uguali. Tuttavia le due formule mostrano una profonda differenza nel punto di partenza dei due filosofi e nella loro maniera d'intendere il movimento, l'uno come spostamento locale, l'altro come energia di movimento.

vimento nascerebbero tutte le proprietà dei corpi. Le particelle più sottili si sarebbero accumulate nel centro del vortice a formare una stella (e nel nostro vortice, il sole): ma tendendo poi ad allontanarsi dal centro per il loro naturale movimento rettilineo, costituirebbero la luce. Intorno a queste particelle, o « materia del primo elemento », starebbero particelle più spesse e dense, costituenti l'aria o « materia del secondo elemento »; le ultime e più grossolane formerebbero la « materia del terzo elemento » e, riunite in grossi aggruppamenti, costituirebbero i diversi pianeti. Queste particelle sono, teoricamente, divisibili all'infinito, ma per spiegare i fenomeni bisogna concedere che siano fisicamente indivisibili; le differenze di forma e di grandezza, d'altronde, pongono tale abisso tra le tre diverse « specie » di materia, che è impossibile la trasformazione dell'una nell'altra. Si vede dunque che, quando discende ai particolari, la fisica cartesiana diventa una teoria corpuscolare che si accosta assai alla fisica atomistica, che ora dobbiamo esporre, e di fronte alla quale perde assai del suo interesse.

La teoria atomistica si è presentata tre volte nella storia della scienza e della filosofia; la prima volta nell'antichità classica, fondata da Leucippo e svolta da Democrito, poi ripresa, dopo la parentesi dell'aristotelismo, da Epicuro e continuata da Lucrezio in Roma; la seconda volta presso gli scienziati del seicento d'indirizzo non cartesiano, fondatori e sviluppatori del meccanicismo, tra cui i nomi più grandi sono: Pietro Gassendi (1592-1655), Kenelm Digby (1603-1665), Tommaso Hobbes (1588-1679), Joachim Jungius (1587-1657), Roberto Boyle (1626 o 27-1691), Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679), Cristiano Huygens (1629-1695), Giacomo I Bernoulli (1654 o 55-1705); la terza volta all'inizio della chimica moderna, con Giovanni Dalton (1766-1848). Ma i motivi che fecero sorgere le tre volte la teoria atomica sono diversi. L'atomismo classico nasce dalle controversie metafisiche sulla natura una o molteplice del reale, sull'oggettività o fenomenalità del divenire, sulla possibilità del movimento spaziale. Da un lato la scuola Eleatica aveva dichiarato illusorio il cangiamento, essendo un passaggio dall'essere al non essere ed implicando perciò contraddizione razionale, ed aveva concluso che l'essere è uno ed immutabile: onde rendeva inesplicabile il sorgere stesso del-

l'illusione del cangiamento; dall'altro lato la scuola di Eraclito aveva affermata la realtà del cangiamento, anzi aveva risolta tutta la realtà nel divenire: apriva così la via alla negazione della scienza e allo scetticismo, perchè senza qualche cosa che permanga costante non è possibile elaborare scientificamente i dati dell'esperienza. Gli atomisti tentano la conciliazione delle opposte teorie, accordandosi cogli Eleati nell'affermare l'immutabilità del reale, ma allo stesso tempo affermando la realtà del movimento; e la conciliazione la trovano risolvendo l'essere-uno degli Eleati in una pluralità di elementi, ciascuno dei quali è in sè immutabile come quello, ma che sono poi capaci di muoversi nello spazio vuoto che li contiene come grande recipiente. Perchè immutabili, questi elementi devono essere indivisibili (*ἄτομοι*): una divisione all'infinito, infatti, condurrebbe ad una trasformazione degli atomi nel vuoto che li circonda, dell'essere nel non essere, ciò che è razionalmente assurdo; l'*ὄν* e il *μὴ ὄν* sono disparati, è impossibile il passaggio dall'uno all'altro. Perciò anche gli atomi sono *pieni*, perchè se contenessero del vuoto sarebbero divisibili: la divisione è infatti possibile ogni volta che vi è mescolanza di essere e di non essere. Tutti gli atomi sono poi omogenei di natura (*τὸ γένος ἕν*), ogni differenza è d'ordine geometrico, in relazione cioè allo spazio: Democrito ammetteva differenze soltanto nella figura, nell'ordinamento e nella posizione reciproca (*σχῆμα, τάξις, θέσις*), poi si aggiunse la grandezza (*μέγεθος*). I cangiamenti sono determinati dall'aggruppamento degli atomi in complessi, che sono i corpi, e dalla disgregazione di questi complessi: il nascere e il perire e il trasformarsi dei corpi sono soltanto apparentemente dei cangiamenti qualitativi: « *αὐξάνεσθαι γὰρ καὶ φθίνειν καὶ ἀλλοιοῦσθαι συγκρινομένων καὶ διακρινομένων τῶν ἀτόμων σωμάτων φασίν* (gli atomisti) » (1).

Ma non tutte le qualità dei corpi hanno lo stesso valore: alcune infatti, come il peso e la leggerezza, la durezza e la mollezza, derivano immediatamente dai miscugli di atomi come tali, appartengono ai corpi e non dipendono dal modo con cui noi le percepiamo; altre invece, come colori, odori, suoni ecc., nascono dal loro rapporto al soggetto senziente, di cui sono modificazioni (*πάθη*), come provano i fatti di relatività delle

(1) Aristotele, *Phys.*, VIII, cap. 9, 265 *b*.

sensazioni (1). La distinzione tra qualità prime e qualità seconde, che vedemmo in GALILEO, si trova enunciata esattamente negli atomisti antichi, ed è rimasta alla base d'ogni concezione meccanica della natura.

L'atomismo dei fisici del seicento coincide in gran parte con l'atomismo classico; ma i motivi che ne hanno determinato il sorgere non sono state le discussioni metafisiche sull'uno e il molteplice, ma il bisogno di matematizzare la natura, di considerare come reali soltanto le proprietà geometriche e ridurre tutti i processi fisici a processi meccanici, ad urti. Bisognava quindi attribuire agli atomi anzitutto l'estensione nelle tre dimensioni dello spazio, e quindi un volume, perchè soltanto elementi estesi sono misurabili. Allora l'indivisibilità degli atomi esprime non una necessità logica, ma un'impossibilità fisica. Ed essendo indivisibili, gli atomi sono indeformabili e impenetrabili (2), hanno come proprietà essenziale la solidità. Ciascun atomo ha grandezza e forma propria, e si distingue dagli altri per la quantità di materia (la *massa*). Indivisibili e indeformabili, gli atomi debbono pure essere indistruttibili; sono il substrato permanente della realtà, il sostegno del movimento, che si distribuisce sui varî atomi in proporzione delle loro masse; la quantità di movimento non rimarrebbe costante se non fossero permanenti gli elementi a cui inerisce. Così gli atomisti moderni, come gli antichi, finiscono col negare realtà al cangiamento, riducendolo allo spostamento degli atomi nello spazio; tutte le proprietà dei corpi derivano

---

(1) « *Περὶ μὲν οὖν βαρέος καὶ κούφου καὶ σκληροῦ καὶ μαλακοῦ ἐν τούτοις ἀφορίζει· τῶν δ' ἄλλων αἰσθητῶν οὐδενὸς εἶναι φύσιν, ἀλλὰ πάντα πάθη τῆς αἰσθήσεως ἀλλοιουμένης, ἐξ ἧς γενέσθαι τὴν φαντασίαν. Οὐδὲ γὰρ τοῦ ψυχροῦ καὶ τοῦ θερμοῦ φύσιν ὑπάρχειν, ἀλλὰ τὸ σχῆμα* (scil. *τῶν ἀτόμων*) *μεταπίπτων ἐργάζεσθαι καὶ τὴν ἡμετέραν ἀλλοίωσιν.... Σημεῖον δέ, ὡς οὐκ εἰσὶ φύσει, τὸ μὴ ταὐτὰ πᾶσι φαίνεσθαι τοῖς ζῴοις, ἀλλ' ὃ ἡμῖν γλυκὺ τοῦτ' ἄλλοις πικρόν, καὶ ἑτέροις ὀξὺ καὶ ἄλλοις δριμύ, τοῖς δὲ στρυφνόν· καὶ τὰ ἄλλα δὲ ὡσαύτως* ». TEOFRASTO, *De Sensu*, 63. V. ZELLER, *Geschichte der griechischen Philosophie*, I, pp. 781-786.

(2) L'impenetrabilità, la durezza degli atomi non è una proprietà geometrica, e perciò l'atomismo ammette delle qualità irriducibili a proprietà geometriche. Il DUHEM (*L'évolution de la mécanique*, p. 22-23) riferisce una lettera di D. PAPIN a HUYGENS, in cui il celebre fisico lamenta che con la durezza degli atomi si ammetta una qualità, una virtù occulta che ricorda troppo quelle delle Scuole: « Une chose qui me fait de la peine c'est ce que vous dites que vous croyez que la dureté parfaite est de l'essence des corps: il me semble que c'est là supposer une qualité inhérente qui nous éloigne des principes mathématiques ou mécaniques »; parole che delineano bene lo spirito che animava i grandi scienziati del seicento.

dall'aggruppamento degli atomi, tutte le percezioni sono effetto dell'azione dei movimenti degli atomi sul soggetto. Alla meccanica atomistica alludeva l'HUYGENS quando scriveva: « *Omnium effectuum naturalium causae concipiuntur per rationes mechanicas, nisi velimus omnem spem abiicere aliquid in physicis intelligendi* » (1).

Su queste basi i fisici del seicento costruirono grandi sistemi cosmologici; tuttavia fu loro difficile mantenere senza modificarlo il presupposto dell'omogeneità della natura degli atomi, data la difficoltà di spiegare con questo presupposto tanti fenomeni diversissimi. Vediamo p. es. il BOYLE, che fu il primo ad applicare la teoria atomica alla chimica, distinguere due ordini di atomi: gli atomi assolutamente omogenei, che sono il fondo della realtà, diversi soltanto per la forma, e gli atomi che nascono dalle diverse concrezioni dei primi e che, qualitativamente differenti, sono i « *semina et immediata principia* » delle diverse sostanze chimiche, come la terra, l'acqua, il sale; dalle loro combinazioni nascono poi i miscugli chimici (*mixturae*) (2). Sicchè nella spiegazione dei fenomeni venivano introdotti questi atomi di second'ordine, e i primi rimanevano un'ipotesi inefficace come la *res extensa* di CARTESIO. Il BORELLI e l'HUYGENS ammettevano intanto un'altra distinzione che ebbe immensa importanza nella storia della scienza, la distinzione tra materia ponderabile e materia imponderabile (etere); e sebbene tanto quella che questa concepissero risultante di atomi, non potevano certo considerar tutti gli atomi come omogenei. Dell'ipotesi dell'etere l'HUYGENS si servì per spiegare la gravitazione e la luce; la gravitazione riprendendo la teoria dei vortici di CARTESIO e spiegandola per mezzo di vortici di etere che trascinano il pianeta intorno al sole, la luce iniziando la teoria ondulatoria che sarà ripresa più tardi alla fine del secolo XVIII. È notevole la piena fiducia che l'HUYGENS aveva nella sua ipotesi: « io posso credere che se l'ipotesi fondamentale di cui io mi servo non è giusta, rimangono ben poche speranze di trovarne una giusta, finchè ci si vuol contenere entro i limiti di una vera e sana filosofia » (3). Le spiegazioni della gravità erano tuttavia più o meno sforzate, e può dirsi che il fenomeno della pesantezza sia stato l'ostacolo più forte in cui

(1) LASSWITZ, *Geschichte der Atomistik*, vol. II, pp. 268-70.
(2) HUYGENS, *De causa gravitatis* (Amstelodami, 1728), p. 96.
(3) HUYGENS, *Tractatus de lumine* (Amstelodami, 1728), p. 2.

urtarono le teorie atomistiche. Tuttavia l'atomismo, mentre suscitava infinite controversie circa le sue basi metafisiche, forniva occasione ad innumerevoli ricerche sperimentali che furono certo la maggior gloria degli scienziati del seicento, i cui nomi restano legati alla scoperta di leggi che rappresentano un acquisto definitivo per la scienza. Sulla base dell'atomismo Daniele Bernoulli (1700-1782) enunciava la teoria cinetica dei gaz che dalla metà del secolo XIX in poi fu svolta ed estesa sì da divenire spiegazione dei vari stati della materia e i cui risultati furono fecondi per lo sviluppo di una nuova scienza, la chimica-fisica.

Nei primi anni del secolo XIX Giovanni Dalton rinnovava ancora la teoria atomistica; ma il motivo che gli suggerì l'introduzione di quest'ipotesi nella chimica era diverso tanto da quello che condusse all'atomismo classico, quanto da quello che ne dettò il rinnovamento agli albori della fisica moderna. Questa volta era un risultato sperimentale, la costanza dei rapporti ponderali delle sostanze che entrano nelle combinazioni, che aveva spinto ad ammettere l'esistenza di elementi materiali immutabili a cui inerissero i pesi relativi dei corpi. Non che l'atomismo fosse provato sperimentalmente: si tratta sempre di un'interpretazione metafisica di un dato sperimentale, e non è neppure ipotesi necessaria per spiegare la legge di Dalton. Tuttavia da allora in poi la storia dell'atomismo è strettamente legata allo sviluppo della chimica; la distinzione di atomi e molecole, la spiegazione delle combinazioni chimiche per mezzo dell'unione di atomi eterogenei in una molecola, le teorie dell'affinità e della valenza sono il fondamento della chimica moderna. L'atomismo classico aveva accennato un po' vagamente alla possibilità di spiegare tutte le proprietà dei corpi per mezzo della maniera di aggregazione degli atomi, ma non aveva potuto scendere ai particolari date le scarse conoscenze del tempo; questo compito si assunse e cercò di assolvere la stereochimica moderna prendendo come punto di appoggio una larga messe di risultati sperimentali.

Ma mentre i fisici del seicento erano divisi in cartesiani e atomisti, gli uni e gli altri concordi nell'espellere dalle spiegazioni della fisica ogni forza occulta, un nuovo indirizzo sorse che doveva poi riassumere i risultati delle investigazioni anteriori e dar nuovo impulso al meccanicismo modificato secondo nuove ed originali vedute. È l'indirizzo iniziato in Inghilterra

da Newton (1642-1726), accettato in Germania da Leibniz (1646-1716), svolto da molti fisici e sistemato infine in Italia da Ruggero Boscovich (1711-1787). L'elemento assolutamente nuovo della fisica newtoniana è il concetto di *forza,* che, pure spoglio d'ogni contenuto sensoriale, rimane sempre espressione di un fatto irriducibile a processi meccanici; la forza è un elemento qualitativo, per quanto, tenendo conto degli effetti a cui dà luogo, possa essere valutato ed espresso in termini matematici. Ignota nella sua essenza, la causa dei movimenti dei corpi celesti, a cui Newton diede il nome di forza di gravità o d'attrazione, può essere valutata quantitativamente, essendo proporzionale direttamente alle masse e inversamente ai quadrati delle distanze. Date le enormi distanze che separano i corpi celesti, questi possono, nei calcoli, esser considerati come punti materiali, dotati di una massa ed esercitanti l'uno sull'altro una azione di attrazione diretta secondo la retta che li congiunge. Considerate dunque le masse come punti e simboleggiate le forze nelle linee che li congiungono, la meccanica celeste, il grande prodotto del genio di Newton, si svolge come una grande geometria, in cui dalle ipotesi fondamentali - il principio d'inerzia, il principio dell'indipendenza dei movimenti, il principio dell'uguaglianza dell'azione e della reazione, le definizioni del tempo, dello spazio e del movimento assoluti e relativi, e i corollarî fondati su queste definizioni - si ricavano tutti i teoremi particolari mediante costruzioni geometriche. Qui si vede come l'indirizzo newtoniano fosse in opposizione tanto all'indirizzo cartesiano quanto a quello atomistico: opposto all'indirizzo cartesiano, perchè seguiva il metodo geometrico-costruttivo, quel metodo che gli antichi geometri chiamavano *sintetico,* mentre il metodo cartesiano era algebrico ed analitico; opposto all'indirizzo atomistico, perchè dal punto di vista di Newton le ipotesi metafisiche sulla natura della realtà ultima non hanno interesse per la scienza; e se l'esperienza non ci dà modo di spiegare meccanicamente certi fenomeni, è metodo sbagliato il voler oltrepassare l'esperienza con ipotesi non fondate. Così se i moti dei corpi celesti non si possono spiegare meccanicamente, è vano tentativo quello di spiegarli per mezzo di vortici fittizî (1). Lasciando dunque da

(1) « *Et hi omnes motus regulares originem non habent ex causis mechanicis* ». Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, lib. III, Scholium generale.

parte le ipotesi metafisiche, nelle spiegazioni dei fenomeni si deve tener conto dei soli elementi *fisici*: spazio e tempo, massa, movimento e forza. Il sistema newtoniano aveva certo dell'arbitrario, dipendendo tutto dal valore dei postulati supremi ammessi con non molto spirito critico; tuttavia per la semplicità e l'eleganza delle dimostrazioni ebbe per qualche tempo un assoluto dominio nel campo della fisica.

La teoria fisica svoltasi dai principî newtoniani conduceva ad ammettere l'unità delle forze fisiche, concepite come forme dell'unica forza di gravità. Non bisogna moltiplicare le forze più dello stretto necessario, aveva avvertito NEWTON (1). Quando i punti materiali sono vicinissimi tra loro, l'azione reciproca che esercitano l'uno sull'altro assume la forma di « forza di affinità chimica » se i punti sono eterogenei, e di « forza di coesione » se sono chimicamente omogenei; quando i punti sono separati da distanza sensibile, la forza assume la forma di « forza di gravità ». L'affinità e la coesione devono rendere ragione di tutte le proprietà dei solidi, dei liquidi e dei gaz e spiegare le leggi delle combinazioni chimiche; la gravitazione deve spiegare la caduta dei corpi sulla terra, i percorsi degli astri, il flusso e il riflusso del mare. Tutto l'universo è dominato da un'unica forza. Il BOSCOVICH trasse le estreme conseguenze di questi concetti, rientrando nel campo della metafisica: gli elementi della realtà sono secondo lui inestesi non solo per comodità di calcolo geometrico, ma realmente, e la loro natura consiste nelle forze che emanano da loro come da centri; unica è l'essenza di tutte le forze naturali, e quindi sono omogenei tutti gli elementi della realtà (2).

Se non che, dal seno stesso della fisica newtoniana sorgeva intanto un'altra concezione che finiva coll'allontanarsi molto dal meccanicismo. Poichè tutti i fenomeni dovevano essere spiegati coll'introduzione delle forze, si cessò di considerarli come effetto di movimenti; le proprietà dei corpi perderono il carattere di effetti di moti delle particelle ultime della ma-

---

(1) Al principio del III libro dei « *Philosophiae naturalis principia mathematica* » NEWTON dà quattro *regulae philosophandi*, di cui le prime due sono: « I. *Causas rerum naturalium non plus admitti debere, quam quae et verae sunt, et earum phaenomenis explicandis sufficiant.* - II. *Ideoque effectuum naturalium eiusdem generis eaedem assignandae sunt causae, quatenus fieri potest* ». (Ediz. Londra, 1779, vol. III, p. 2).

(2) BOSCOVICH, *Theoria philosophiae naturalis redacta ad unam legem virium in natura existentium*, parte I, parag. 7.

teria e vennero ipostatizzate a poco a poco in fluidi specifici emananti dai corpi, composti di punti materiali che esercitano l'uno sull'altro azioni ripulsive, ma che sono attratti dalle grandi masse dei corpi. Si rinnovava così una teoria accennata nel seicento da Boyle e da Borelli, secondo cui i pori di tutti i corpi, anche i più solidi, sarebbero riempiti di sostanze speciali - sostanza luminosa, sostanza calorifica - che in date condizioni verrebbero emanate, quali effluvî, dai corpi e disperse nell'ambiente circostante. Tale teoria venne solo modificata in questo senso, che invece di parlare di emanazioni si disse che i fluidi erano attratti dai corpi su cui andavano a cadere, nei quali si riponeva dunque l'origine delle forze di attrazione. Già Newton diede su queste basi la spiegazione dei fenomeni luminosi, fondando la « teoria dell'emissione » che venne svolta e sistemata dal Laplace (1749-1827); anche il calore, come scrive il Duhem, perde per mezzo secolo il carattere di movimento che gli si attribuiva da Cartesio in poi e diventa un fluido, il « calorico », risedente nei corpi ed attratto da altri: teoria svolta dal Black (1728-1799) ed accettata per qualche tempo da tutti i fisici anche perchè, dando al calore il carattere di una sostanza, era facile pensarlo indistruttibile; si pensi che anche Sadi Carnot, il cui principio valse a rovinare la teoria dei fluidi, si fondava sugli stessi concetti di Black. Infine il Poisson (1781-1840) ipostatizza i fenomeni elettrici in un fluido specifico, trattando le azioni di attrazione e ripulsione studiate nell'elettrostatica in base ai principî newtoniani; e l'Ampère (1775-1836) estende la stessa spiegazione ai fenomeni dell'elettrodinamica e dell'elettromagnetismo, dando l'ultima mano ad un sistema che traeva le sue origini dalla meccanica celeste di Newton.

Fin qui abbiamo veduto tre indirizzi meccanicistici: il cartesiano, l'atomistico e il newtoniano; un quarto indirizzo nacque dalla combinazione del primo col terzo, ma con altro scopo che in quelli. Già nel secolo XVIII molti scienziati, pur accogliendo dalla fisica newtoniana il concetto di forza, di cui ormai non si potrà fare a meno nella meccanica, in qualunque modo poi la si interpreti, non ne accettarono nè il metodo geometrico-costruttivo nè le ipotesi su cui appoggiavasi e che, come dicemmo, davano un carattere di arbitrarietà al sistema; bisognava eliminare l'artificiosità di una meccanica che sembrava non poter fare a meno dei concetti di punto materiale

e di attrazione e ripulsione. Lasciando dunque la massima indeterminatezza al concetto di forza (definita come « la causa, qualunque sia, che imprime o tende a imprimere movimento al corpo al quale la si suppone applicata » (1)), e d'altra parte rendendo ai corpi la loro estensione e la loro figura, facendo astrazione dai postulati della dinamica che erano il punto di partenza della fisica di Newton, e tenendo conto soltanto delle condizioni che limitano le possibilità di movimenti di ciascun sistema materiale, dev'essere possibile, mediante il riferimento ad un sistema di coordinate, esprimere le condizioni di equilibrio del sistema materiale mediante equazioni differenziali; e, posti così i principî della statica, debbono potersene ricavare le leggi della dinamica col solo sviluppo delle equazioni stabilite in principio. Ne viene così un nuovo sistema di meccanica, che è analitico nel metodo come la meccanica cartesiana e che, come questa, considera i corpi come dei continui, ma che d'altra parte accetta dalla meccanica newtoniana il concetto di forza e come quella esclude ogni ipotesi metafisica sulla natura del reale. L'importanza di questo indirizzo consiste, dal punto di vista filosofico, nel nuovo modo d'intendere l'ufficio della meccanica: spiegare un fenomeno fisico, per la meccanica analitica, non significa più cogliere la natura delle forze o dei movimenti sovrasensibili che si suppone lo abbiano prodotto, ma semplicemente indicare in quali condizioni meccaniche il fenomeno si è svolto. Il meccanicismo, allora, diventa puramente « formale », nel senso che non pretende di esprimere la natura della realtà oggettiva, ma la forma dello svolgimento dei fenomeni; il campo della metafisica gli è interdetto.

Alla costruzione del grandioso sistema della meccanica analitica cooperarono i più grandi geometri del settecento: Leonardo Eulero (1707-1783), Mac-Laurin (1698-1746, dunque anteriore ad Eulero, ma la sua opera è posteriore), D'Alembert (1717-1783); ma chi gli diede sistemazione definitiva e compimento fu Giuseppe Luigi Lagrange (1736-1813), la cui « Mécanique analytique » segna una delle tappe più importanti nello svolgimento storico della meccanica. E si può dire che dipoi abbia fatto pochi progressi dal lato teorico; il Gauss, che enunciò il « principio del minimo sforzo », svolgimento del principio delle

(1) Lagrange, *Mécanique analytique*, parte I, sez. I.

velocità virtuali che era alla base della meccanica di LAGRANGE, disse che non è più possibile stabilire in meccanica alcun principio sostanzialmente nuovo, e che non si può se non scuoprire nuovi punti di vista nello studio dei fenomeni meccanici (1). E la meccanica di HERTZ (1857-1893) si allontana solo apparentemente dalla meccanica analitica perchè non parla di forze, ma, come vedremo meglio a suo luogo, introduce surrettiziamente una nozione analoga che la sostituisce.

Nel secolo XIX i due indirizzi che prevalgono sono quello della meccanica analitica e quello dell'atomismo; il primo per altro ebbe continuatori isolati, mentre il secondo, come quello che, mirando a cogliere la natura del reale, soddisfaceva meglio alle esigenze del pensiero, ebbe maggior diffusione e finì col diventare sinonimo di meccanicismo. La teoria dei fluidi specifici aveva finito coll'ammettere agenti esterni qualitativamente diversi e forniti delle proprietà che rivelano ai nostri sensi, spezzando così quell'omogeneità della natura che era l'ideale del meccanicismo. Il secolo XIX ha veduto scomparire ad uno ad uno tutti quei fluidi e ristabilire nella realtà le diverse specie di movimenti di atomi che vi avevano posto i primi meccanicisti; l'opera degli scienziati in questo secolo fu volta ad estendere a tutto l'universo la concezione meccanica esplicativa dei fenomeni, seguendo le intenzioni degli scienziati del seicento. Dapprima la « teoria delle ondulazioni », per opera di GIOVANNI AGOSTINO FRESNEL (1788-1827) e di TOMMASO YOUNG (1773-1829) rovinava la teoria dell'emissione della luce di NEWTON e LAPLACE e confermava l'ipotesi dell'esistenza di un mezzo perfettamente elastico, l'etere, per la trasmissione delle onde luminose, riducendo così i processi luminosi a processi meccanici; poi, in seguito agli studî di SADI CARNOT (1796-1832) e specialmente alle ricerche di grandissimi fisici, come GIULIO ROBERTO MAYER (1814-1878), J. P. JOULE (1818 1889), RUDOLF CLAUSIUS (1822-1888) e HERMANN HELMHOLTZ (1821-1894), cadeva la teoria del fluido calorico e nasceva una teoria meccanica del calore, intorno a cui si affaticarono innumerevoli scienziati, confortata sulle prime dalla nuova forma assunta dall'esigenza di porre un invariante universale nel fondo della realtà, col « principio della conservazione dell'energia »; la teoria meccanica del calore può dirsi il capolavoro del meccanicismo del

(1) MACH, *Meccanica* (trad. ital.), p. 369.

secolo XIX, ciò che meglio ne mostra gli scopi e anche, come vedremo più oltre, le insufficienze. Infine, J. Clerk Maxwell (1831-1879) compiva la riduzione dei processi fisici a processi meccanici colla teoria meccanica dell'elettricità. Non ci diffondiamo qui ad esporre queste teorie, perchè dovremo discuterle ampiamente nel corso del nostro lavoro. Il meccanicismo così venne universalizzato; ipotesi metafisiche della semplicità di quella di William Thomson (1824-1907) mostrano il punto estremo a cui si giunge nel ricercare l'unità dei principî esplicativi dei fenomeni. E non è inutile ricordare che non soltanto nella fisica e nella chimica, ma anche nelle scienze biologiche e perfino nelle scienze psicologiche e sociologiche fu diffusa la concezione meccanica, appoggiandosi negli ultimi tempi alla teoria dell'evoluzione delle specie organiche; il meccanicismo trovò la sua sistemazione filosofica nell'opera di Herbert Spencer, e divenne nello stesso tempo sinonimo di materialismo. Quello che è caratteristico dello stato della cultura di questo periodo è la completa fiducia degli scienziati nella teoria meccanica e la convinzione di trovar soltanto in essa la soluzione di tutti gli enigmi dell'universo.

Se dovessimo, per concludere, tentare una classificazione delle varie teorie meccaniche, dovremmo distinguere anzitutto due aspetti del meccanicismo: l'uno, che chiameremo l'aspetto *formale* o anche matematico, e che consiste nello studio e nella espressione quantitativa delle condizioni meccaniche che accompagnano lo svolgimento dei fenomeni; le teorie fisiche in cui prevale questo aspetto del meccanicismo non si preoccupano di approfondire la natura della realtà, anzi sottintendono che i processi meccanici rappresentano la parte intelligibile, ma non l'unica dei fenomeni; esse si distinguono ancora secondo il metodo che seguono, e che è o *sintetico* o geometrico, come nella fisica newtoniana, o *analitico* o algebrico, come nella fisica di Lagrange; nella prima la statica è dedotta dalla dinamica, nella seconda al contrario la dinamica è dedotta dalla statica. L'altro aspetto del meccanicismo possiamo dirlo *realistico* o fisico; consiste nel cercare di determinare la natura dei processi fisici quali sono in sè, indipendentemente dalla nostra rappresentazione, e considera i processi fisici come processi di natura meccanica; le teorie fisiche in cui prevale questo aspetto possono distinguersi a seconda delle due ipotesi fondamentali sulla natura del reale, l'ipotesi della continuità della materia,

nella fisica cartesiana, e l'ipotesi corpuscolare, nella fisica atomistica.

Nella nostra indagine noi non ci occuperemo affatto del meccanicismo formale e del suo valore; quindi rimarranno escluse dalla presente trattazione la meccanica analitica e la fisica newtoniana nella forma in cui l'enunciò il suo autore; noi dovremo discutere le teorie inspirate all'indirizzo cartesiano, all'indirizzo atomistico, e quelle teorie d'origine newtoniana in cui l'intento realistico è evidente. Incominciando l'analisi dai concetti elementari del meccanicismo, ci occuperemo dapprima della *massa* e del *movimento;* l'insufficienza di questi soli elementi a spiegare tutti i fenomeni fisici ci condurrà ad occuparci della *forza*, per giungere infine allo studio delle *forme* in cui l'energia dell'universo si differenzia qualitativamente come nell'iride la luce del sole.

II. — La materia e il movimento.

Tutte le teorie fisiche le quali, accanto ed oltre al fine di scuoprire le leggi regolatrici dei fenomeni e di enunciarle per mezzo di rapporti matematici, hanno avuto lo scopo di interpretare il significato dei processi naturali e del loro comportamento, cercando di cogliere la realtà attraverso le parvenze, l'invariante universale attraverso il cangiamento, hanno dovuto incontrare un limite nella riduzione delle differenze qualitative in differenze quantitative. Finchè, infatti, ci contentiamo di formulare il modo onde i fenomeni si svolgono enunciando rapporti matematici, (variabili, di più, a seconda delle unità di misura che a volta a volta si assumono), non *poniamo* un reale fuori di noi; le relazioni sono stabilite dalla mente ed hanno significato solo in quanto presuppongono dei termini concreti, non risolvibili in puri rapporti, tra i quali esse sono poste. Il limite dato dall' esigenza di porre un reale come punto di appoggio delle leggi ideali coincide col limite della riduzione delle differenze qualitative a differenze quantitative. Neppure nella fisica cartesiana si è raggiunta la risoluzione completa delle qualità in rapporti quantitativi: anche lo spazio, a cui secondo quella fisica si riduce la materia, non è pura

quantità, è sempre un elemento qualitativo; le proprietà geometriche, anche intese nel senso della geometria analitica, non si ricavano dall' algebra, e le proprietà meccaniche, come il movimento, non si trovano nella geometria. Quando CARTESIO diceva che il *numerus* non si distingue dalla *res numerata,* o cadeva in un controsenso, perchè cose differenti possono essere numerate nella stessa maniera e quindi logicamente dovrebbero identificarsi, o introduceva surrettiziamente qualche determinazione qualitativa nel concetto di numero, identificandolo colle porzioni dell' estensione tridimensionale. Egli stesso, del resto, sentì il bisogno di parlare di una *res extensa;* e già dicemmo che se questa *res* si fosse risolta in un complesso di rapporti ideali, il dualismo cartesiano di pensiero ed estensione sarebbe svanito in un monismo idealistico. Non riuscita alla fisica cartesiana, tanto meno la riduzione delle qualità a quantità riuscì alle teorie fisiche posteriori, le quali tutte sono state inspirate dalla tendenza realistica.

L'analisi degli elementi costitutivi della realtà compiuta dal meccanicismo si arresta alle due nozioni fondamentali di materia e movimento. « Der im Raume gegebene Empfindungsinhalt bildet das Untersuchungsobject der Physik in allgemeinsten Sinne. Ihre Aufgabe besteht in der Zurückführung des Wechsels der verschiedenen Empfindungsarten auf eine einzige Art der Veränderung, welche eine mathematische Darstellung zulasst. Diese Veränderung ist die Bewegung der Körper im Raume »(1). Materia e movimento sono elementi quantificabili e qualitativi nel medesimo tempo; di qui la loro scelta ad elementi costitutivi della realtà, a principî di spiegazione di tutti i fenomeni e di determinazione di tutte le differenze qualitative. Ciò che presentano di quantificabile la materia e il movimento è rappresentato dai rapporti di spazio e di tempo in cui sono immersi; l'estensione nelle tre dimensioni, e quindi il volume, le variazioni di peso, e mediante il rapporto tra peso e volume le differenze di densità, rappresentano l'aspetto misurabile della materia; quando alle variazioni spaziali della materia si aggiungono le variazioni temporali, si ha il movimento nel suo aspetto quantitativo, con le differenze di velocità e di accelerazione che gli sono inerenti. Dunque i rapporti spaziali

(1) KURD LASSWITZ, *Zur Rechtfertigung der kinetischen Atomistik* (in Vierteljahrsschrift für vissenschaftliche Philosophie, IX, S. 139).

e temporali ci rivelano l'aspetto quantitativo della materia e del movimento; ma questo non vuol dire che questi rapporti esauriscano la natura della materia e dei suoi cangiamenti: la misura di una cosa o di un processo non può esaurirne l'essenza. Vi è dunque nella materia e nel movimento un aspetto qualitativo oltre che quantitativo; passiamo dalla considerazione della quantità alla considerazione della qualità quando concepiamo la materia come un substrato reale, permanente, invariabile e indistruttibile d'ogni cangiamento, quando pensiamo che la quantità che si trova permanere costante attraverso tutti i processi inerisce a qualche cosa di realmente esistente fuori di noi e capace di agire su noi e di dare origine alla molteplicità qualitativa che forma il mondo della nostra esperienza. E passiamo dalla considerazione quantitativa alla considerazione qualitativa quando concepiamo il movimento non più come semplice cambiamento nella posizione relativa di due o più masse, ma come processo reale avente la sua origine in una proprietà per cui il corpo in movimento differisce essenzialmente da un corpo in quiete; la considerazione dinamica del movimento, che non esclude ma integra la concezione foronomica, rende possibile il dare realtà ai processi meccanici; l'aspetto foronomico e l'aspetto dinamico corrispondono appunto all'aspetto quantitativo, o matematico, e all'aspetto qualitativo, o fisico, del movimento.

A questo punto dobbiamo fermarci per discutere rapidamente un problema che sorge prima che procediamo nelle nostre investigazioni. Perchè, si potrebbe dire, coll'ammettere un aspetto dinamico o qualitativo nel movimento rendete lecito di parlare di un movimento assoluto; ma chi non sa che il movimento è soltanto relativo? La questione merita di essere discussa tanto più in quanto che recentissimamente alcuni scienziati hanno voluto rinnovare il principio della relatività del movimento in tutto il suo rigore, estendendolo anche allo spazio e al tempo (1). In ogni età filosofi e scienziati hanno discusso se il movimento sia sempre relativo o se sia possibile parlare di un movimento assoluto; dall'antichità greca e dal Medio Evo fino ai tempi moderni due correnti opposte di dottrina si

(1) Vedi: G. Castelnuovo, *Il principio della relatività e i fenomeni ottici* (in « Scientia », vol. IX, 1911, pp. 64-86); e P. Langevin, *L'évolution de l'espace et du temps* (id. vol. X, 1911, pp. 31-54).

sono disputate il terreno della scienza [1]. L'una di queste traeva in fondo origine dalla fisica di ARISTOTELE, trovava applicazione nei sistemi cosmologici di TOLOMEO e di AVERROÈ, ed ebbe quindi, nel Medio Evo, i più strenui difensori negli Scolastici d'indirizzo peripatetico e tomistico. Dallo spirito della dottrina aristotelica si ricavava che il movimento spaziale è sempre relativo, perchè ogni mutamento di posizione esige un punto di riferimento, fisso per definizione; e poichè sembrava che un tale punto invariabile non potesse esser solo un'astrazione della mente, ma dovesse inerire ad un corpo concreto, avente esistenza attuale in un sito dello spazio, si poneva la Terra come centro immobile dell'universo: ogni moto delle sfere celesti era concepibile in quanto relativo a questo corpo invariabile [2]. In opposizione a questa dottrina stava l'altra, che ebbe negli ultimi Neoplatonici gli enunciatori e fu svolta e sostenuta, nel Medio Evo, per diversi motivi anche estranei ai puri argomenti scientifici, dai filosofi delle scuole francescane. Partiva dal concetto che un movimento di rotazione può sussistere anche senza rapporto a nessun punto immobile, e concludeva che se anche l'universo fosse tutto una massa omogenea potrebbe muoversi di movimento rotatorio nella sua totalità. Il moto rotatorio, diceva DUNS SCOTO, è come una forma in continuo fluire (*forma fluens:* oggi diremmo un'energia cinetica che passa continuamente dallo stato potenziale all'attuale) e pertanto ha un significato anche preso per sè, in senso assoluto, senza riferimento ad altro.

Il problema agitato nelle scuole medioevali acquistò anche maggiore importanza nella scienza e nella filosofia moderna soprattutto perchè implicava il modo d'intendere uno dei principî capitali della nuova concezione del mondo, il principio d'inerzia. La tesi della relatività è stata sostenuta, come è noto, col più grande rigore da CARTESIO e dalla sua scuola. Anche CARTESIO, come ARISTOTELE, non può concepire il movimento se non in rapporto a qualche punto immobile; solo che, mentre lo Stagirita credeva nell'esistenza concreta, attuale del corpo fisso, la Terra, CARTESIO ritiene che nessun corpo nell'universo sia in quiete assoluta, e che quindi il termine di riferimento dei

(1) V. l'ampia trattazione storico-critica del DUHEM in una serie di articoli pubblicati nella « Revue de philosophie » dal 1907 al 1909 col titolo: *Le mouvement absolu et le mouvement relatif.*

(2) ARISTOTELE, *De coelo*, II, 286 a.

movimenti sia un punto matematico, posto ad arbitrio dal nostro pensiero (1). Ma con la tesi della relatività il principio d'inerzia diventa incomprensibile: infatti, se basta mutare ad arbitrio il punto di riferimento per attribuire ad uno stesso corpo nello stesso tempo quanti moti vogliamo o per poterlo considerare contemporaneamente in moto e in quiete, rispetto a punti differenti, che senso ha più il dire che un corpo nel vuoto, sottratto all'azione di altri corpi, persevera nello stato di quiete o nel moto rettilineo uniforme? Se movimento e quiete sono soltanto relativi, noi possiamo considerare un corpo inerte come fermo e moventesi al tempo stesso, e attribuirgli una traiettoria rettilinea o curvilinea a piacere, pur di scegliere adatti punti di riferimento.

Questa incompatibilità tra la tesi della relatività del movimento e il principio d'inerzia condusse NEWTON ad enunciare una dottrina originale, che, in diverse forme, ebbe gran numero di seguaci, da KANT ad una larga schiera di scienziati moderni, come il NEUMANN, il DUHEM, il PAINLEVÉ, lo STREINTZ, l'ANDRADE. NEWTON distingueva, com'è noto, lo *spazio relativo,* che è quello percettibile per mezzo dei sensi, dallo *spazio assoluto,* sovrasensibile, il gran recipiente in cui tutte le cose sono contenute; gli spostamenti dei corpi nello spazio relativo - i soli percepiti - sono movimenti relativi; ma gli spostamenti dei corpi nello spazio assoluto sono movimenti assoluti, che noi non possiamo percepire nè in alcun modo direttamente conoscere, ma solo entro certi limiti arguire dai caratteri dei corrispondenti moti relativi. Ognuno vede come sia qui accennata chiaramente la distinzione tra il mondo sensibile e il mondo intelligibile, la realtà fenomenica e la realtà noumenica, quale troviamo poi in KANT, ammiratore e seguace di NEWTON; per questo rispetto, anzi, non ha errato chi ha detto che la « Critica della ragion pura » (integrata, aggiungiamo noi, coi « Principî metafisici della scienza della natura ») è una rielaborazione teoretica della fisica newtoniana. In questa stessa traccia si sono posti i moderni fisici su ricordati, i quali pure riconoscono che ogni movimento percettibile è relativo: la fisica non può considerare altro che questo,

---

(1) C'est la théorie d'Aristote et d'Averroès, mais à laquelle la révolution Copernicaine a soustrait le terme immobile, le *ἀκίνητον πρῶτον*, que cette dernière théorie requérait » DUHEM, op. cit., Revue de philos., 1908, p. 639. - ARISTOTELE, ricordiamo, definiva « il luogo » di un corpo come « il primo limite immobile del corpo circostante » (*Τὸ τοῦ περιέχοντος πέρας ἀκίνητον πρῶτον, τοῦτ ἔστιν ὁ τόπος*).

ed è perciò costretta a scegliere un punto fisso di riferimento, suggerito a volta a volta dall'evoluzione del sapere scientifico: era prima la terra, è oggi il sole o il mondo delle stelle fisse, sarà forse domani un altro punto, che può essere in generale indicato come «un punto individuato da tre coordinate scelte (ad arbitrio) in modo che le leggi della fisica, riferite a questo triedro privilegiato, abbiano la loro più semplice espressione» (Duhem). Ma i movimenti relativi percettibili sarebbero indici di movimenti assoluti compientisi nella realtà; a movimenti relativi uguali dovrebbero corrispondere movimenti assoluti uguali, a movimenti relativi differenti dovrebbero corrispondere movimenti assoluti differenti; ma questi movimenti assoluti sarebbero sovrasensibili e perciò estranei all'esperienza possibile e alla scienza: noi non potremmo che supporne l'esistenza per rendere intelligibile il principio d'inerzia; non sarebbero oggetto della fisica, ma della metafisica.

Questa dottrina è senza dubbio la più compiuta intorno al difficile problema della natura del movimento; ma prima di discuterne il valore dobbiamo accennare ai più recenti dibattiti svoltisi su questo punto tra eminenti scienziati. Il Mach (1) concorda cogli scienziati di cui abbiamo in ultimo discorso nella prima parte della loro dottrina: tutti i movimenti percettibili sono relativi, e il triedro di riferimento viene scelto a volta a volta dalla scienza con lo scopo di rendere più semplice l'enunciazione delle leggi dei fenomeni fisici; ma non accetta la seconda parte, secondo cui vi sarebbe un movimento assoluto sovrasensibile, perchè, dice, nessun dato autorizza quest'affermazione, e l'affermare più di quanto l'esperienza suggerisce è addirittura un atto di mala fede scientifica. Il Mach dunque si pone nella posizione di un relativismo rigoroso, in base al quale gli è facile dimostrare che il sistema Tolemaico e il sistema Copernicano non sono l'uno vero e l'altro falso, ma si equivalgono, in quanto assumono punti di riferimento diversi (la Terra e il Sole) senza poter provare quale dei due sia realmente immobile; soltanto il secondo sistema è più semplice e più pratico. «L'universo non ci è stato dato *due volte,* prima con una Terra in riposo, poi con una Terra animata di una rotazione, ma solo *una volta*, coi suoi movimenti relativi, soli determinabili» (2).

---

(1) Mach, *Meccanica,* trad. ital., pp. 228 sgg.
(2) Mach, *Meccanica*, trad. ital., p. 231.

Eppure vi sono - attesta il NEUMANN (1) - delle prove sperimentali del moto rotatorio della Terra, a tutti ben note: l'accelerazione della gravità diminuisce dai poli all'equatore; la Terra è schiacciata ai poli; il piano del pendolo di FOUCAULT si sposta in diversa misura a seconda della latitudine; i venti alisei e le correnti marine hanno un percorso diverso da quello che dovrebbero avere se la terra fosse ferma; un grave, cadendo da grande altezza, invece di seguire la verticale va a cadere un poco verso oriente, a causa della rotazione terrestre da oriente ad occidente. Ora è vero che tutti questi fenomeni si verificherebbero anche se la Terra fosse in riposo e gli astri si muovessero in modo che ne risultasse per la Terra la stessa rotazione relativa; ma supponiamo di isolare la Terra nello spazio e di abolire tutto il rimanente dell'universo: in queste condizioni, o quei fenomeni si verificano, e allora la Terra è animata da una rotazione assoluta, o non si verificano, e allora la Terra è in quiete assoluta. E per un corpo in queste condizioni il principio d'inerzia avrà quel valore assoluto che gli è stato attribuito da NEWTON in poi.

Ma questa ipotesi - replica il MACH (2) - è strana e inverificabile: che cosa è più il mondo se lo distruggete d'un colpo per lasciare al suo posto un solo corpo celeste? Il mondo che noi conosciamo è un complesso di corpi, e non sappiamo neppure pensare che cosa ne avverrebbe se non ce ne fosse che uno: è questa una condizione di cui non vediamo neppure la possibilità, e il supporla è in fondo un abuso del metodo, che talvolta può essere fecondo, dell' « esperimento mentale ». E quanto al principio d'inerzia, esso ha valore in rapporto alla Terra e alle stelle fisse, ma non si può dire che abbia un valore assoluto: già quando GALILEO giungeva a rendersi conto del principio d'inerzia, si riferiva soltanto alle esperienze limitatissime che si fanno sulla Terra; NEWTON lo estese alle esperienze possibili nell'universo che noi percepiamo, ma all'infuori di queste nulla possiamo dire del suo valore.

Come si vede, il dibattito tra assolutisti e relativisti si è protratto dall'antichità fino ad oggi, e non sembra che il problema, sulle basi su cui è stato posto, trovi ancora una soluzione. Per conto nostro, non ci sembra di potere accogliere nè l'una

---

(1) C. NEUMANN, *Die Principien der Galilei-Newton'schen Theorie* (Leipzig, 1870).
(2) MACH, *Meccanica*, trad. ital., p. 282-3.

nè l'altra concezione. Alla dottrina di coloro che, rinnovando il pensiero di NEWTON, distinguono spazio assoluto e spazio relativo, moto assoluto e moto relativo, si possono fare due obiezioni: 1.ª Secondo questa teoria vi sarebbe un movimento assoluto sovrasensibile, compientesi nello spazio assoluto; ora il movimento, mentre è suscettibile di misura per mezzo dei rapporti spaziali e temporali, è poi sempre qualche cósa di percettibile per mezzo dei sensi, è un complesso di qualità sensoriali; è perciò assurdo il parlare di « movimenti sovrasensibili », come se una qualità sensoriale potesse essere sovrasensibile: chi potrebbe parlare di colori o di suoni sovrasensibili? Lo spazio stesso ci è dato così intimamente connesso con le qualità sensoriali, che l'ammettere uno spazio sovrasensibile non è meno assurdo. Noi possiamo, certo, ritenere che a quel fenomeno che si presenta alla nostra percezione come movimento debba corrispondere nella realtà un certo carattere, una particolare forma di efficienza degli agenti esterni: ma non avrebbe senso il parlare di « movimento » al di là del mondo percettibile. 2.ª D'altro lato, finchè si considera il movimento come semplice mutamento di rapporti spaziali, non ci si può sottrarre alla necessità di considerarlo come sempre relativo: ciò è implicito nel fatto stesso che la spazialità si risolve, come abbiamo detto, in un complesso di rapporti (1). Noi non ci possiamo rappresentare un corpo in movimento, senza rappresentarci insieme qualche punto fisso rispetto al quale quel corpo si muova; e perciò dobbiamo riconoscere che un corpo può spostarsi rispetto ad un secondo ed essere fermo rispetto a un terzo che sia trascinato nello stesso suo movimento relativo al secondo. Nè basta concepire un supposto spazio assoluto, alla maniera di NEWTON, di KANT, di NEUMANN, come un grosso recipiente, per chiamare assoluti i moti che si compiono in questo spazio: anche codesto recipiente dovrà essere rappresentato come fisso, immobile, e perciò come il termine di riferimento dei moti che si compiono nel suo interno. Dunque anche in un supposto spazio assoluto

(1) Perciò il PEARSON, che non riconosce nel movimento altro aspetto che quello foronomico, si schiera col MACH e coi relativisti rigorosi; e nulla si potrebbe obiettare a questo suo sillogismo: il movimento è mutamento di posizione; ogni posizione è relativa a qualche punto fisso; dunque ogni movimento è relativo a qualche punto fisso. « Absolute position in space, just as absolute space itself, is meaningless » « Absolute motion, like absolute position, is inconceivable » (K. PEARSON, *The Grammar of Science*, parte 1ª, 3ª ediz., 1911, p. 233 e 235).

il movimento, in quanto mutamento di rapporti spaziali, è sempre relativo.

Ma allora dovremo accettare l'interpretazione del principio d'inerzia data dai relativisti rigorosi, che finiscono col togliergli ogni significato? Neppure questa posizione ci soddisfa. Contestiamo anzitutto la tesi del MACH, che il principio d'inerzia abbia avuto in origine un significato puramente empirico e relativo ai fenomeni osservabili sulla Terra: non solo perchè l'esperienza non ci fa trovar mai verificato quel principio, anzi vi è in contraddizione continua (nessun corpo ci si presenta in quiete infinita o in movimento rettilineo uniforme infinito), ma anche perchè fin dagli inizî della scienza, e poi soprattuto in NEWTON, il principio d'inerzia ebbe valore di un *postulato* che viene *imposto* all'esperienza come *principio metodico* nelle ricerche sperimentali. Il principio d'inerzia ha, secondo noi, proprio il valore di una regola metodica, e significa: nella spiegazione dei fenomeni naturali non possiamo ammettere che le cause dei cangiamenti dei corpi risiedano nei corpi stessi, ossia che i corpi abbiano una forma di spontaneità propria e incalcolabile. E perchè si nega la spontaneità agli agenti esterni? Perchè ciò è richiesto dall'esigenza di sottoporre il corso dei fenomeni a misura, a determinazioni quantitative; la spontaneità di un agente sarebbe un fattore imprevisto che si caccerebbe nelle equazioni dei fenomeni durante il loro sviluppo: il principio d'inerzia elimina la possibilità di questo imprevisto. Così inteso, non è più il caso di domandarsi se il principio d'inerzia valga sulla nostra Terra e in rapporto alle stelle fisse o nello spazio assoluto o altro: esso vale ogni volta che la mente umana vuole acquistare cognizione organica, scientifica dei fenomeni naturali, perchè risponde all'esigenza di trasferire nell'esperienza i rapporti quantitativi e, quindi, di renderla assimilabile dal pensiero.

Ma allora, posto fuori causa il principio d'inerzia, come si risolve il problema della natura del movimento? Una volta riconosciuto che, per quell'aspetto per cui è un mutamento di rapporti spaziali, il movimento è sempre, di necessità, relativo, dobbiamo ricordare che noi abbiamo distinto nel movimento un altro aspetto, l'aspetto *dinamico* o qualitativo, in virtù del quale un corpo in moto differisce *essenzialmente* da un corpo in quiete; un corpo si muove quando esplica una forma di attività, di energia che il corpo in quiete non esplica. Questa

differenza essenziale ci permette di parlare (ma in un senso, come si vede, molto diverso da quello degli assolutisti di cui abbiamo criticate le dottrine) di un « movimento assoluto », non già perchè ci sia un movimento sovrasensibile, ma perchè un corpo che si muove esplica un' energia che continua ad esplicare anche se, variando il punto di riferimento dello spostamento spaziale di quel corpo, questo ci apparisce in quiete. Col concetto dell' « energia di movimento » usciamo dal campo della spazialità e quindi della relatività ed entriamo nel mondo delle qualità; e nel mondo delle qualità (v. pag. 4) il relativismo non trova più posto. Riflettendo sui dati dell'esperienza, ci è necessario concludere che, se c'è un movimento nella natura, dev' esserci esplicazione di un' energia cinetica, la quale infatti ricompare poi sotto altre forme (calore, luce ecc.); perciò non si sforza l' esperienza col riconoscere l' esistenza, in questo senso, di un movimento assoluto. Quale, poi, di due corpi che si spostino l'uno rispetto all' altro, sia quello che esplica l'energia cinetica, sarà molto difficile dire, appunto perchè alla percezione non ci si rivelano che i moti relativi nello spazio; ma ciò nulla toglie al carattere assoluto del movimento considerato nel suo aspetto qualitativo, come una forma di energia.

Ora possiamo riprendere l' analisi della concezione meccanica e la critica dei suoi presupposti e dei suoi risultati. Dicemmo a suo luogo che la concezione meccanica fu possibile dal momento che, pel bisogno realistico da cui i primi scienziati erano spinti, furono oggettivati la materia e il movimento. Ma non soltanto il meccanicismo implica questa oggettivazione; esso anche, in primo luogo, scambia la materia e il moto come son dati alla nostra percezione, per elementi delle realtà per sè stante, in secondo luogo crede che con la materia e col movimento possa spiegarsi l' origine di tutte le altre qualità sensoriali. Vediamo se sono giustificate queste assunzioni che stanno alla base della concezione meccanica dell' universo.

E prima di tutto dobbiamo domandarci: è giusto assegnare, tra i dati della percezione, alla materia e al movimento la posizione privilegiata che dà loro il meccanicismo? Non è necessario dilungarsi a dimostrare che la materia e il movimento sono dati dalla percezione sensoriale; il tatto anzitutto ci dà notizia dell'estensione continua, dei limiti dei corpi, e, associandosi col

senso muscolare, ci avverte delle variazioni di resistenza, delle forme, delle figure. Scorrendo colla mano su diversi corpi, abbiamo notizia della loro posizione relativa e della reciproca distanza; col cangiare di questi rapporti, il tatto ci fornisce alcuni elementi necessarî per la percezione del movimento. La vista pure ci dà notizia dell' estensione e, per mezzo dei movimenti degli occhi, delle dimensioni degli oggetti, delle forme, delle distanze; le diverse intensità dei colori ci danno notizia delle divisioni tra i corpi e mediante i cangiamenti nella distribuzione e nell'intensità dei colori e delle luci giungiamo alla percezione visiva del movimento. Infine coll'associazione del senso muscolare al tatto e alla vista ci sono offerti gli elementi per percepire le variazioni del movimento in velocità e in ritmo. Anche gli altri sensi poi ci possono talvolta fornire notizia dell'estensione, della direzione del movimento, in seguito sempre all'associazione coi dati della vista o del tatto o del senso muscolare. Le ricerche psicologiche, fatte p. es. sugli anormali, ci hanno dimostrato come le qualità dateci dal tatto, con cui giungiamo a percepire la forma, l'estensione, il movimento, non hanno nulla di comune con le qualità sensoriali visive che ci servono per giungere alla percezione spaziale per mezzo della vista: originariamente diverse, incomparabili ed irriducibili, essendo dati di sensi differenti, soltanto col tempo, per l'esercizio e per l'abitudine, si associano così strettamente che noi possiamo dire che una certa superficie vista dall'occhio è quella stessa che tocchiamo colla mano, che un dato corpo che vediamo di fronte a noi è quello stesso che resiste al nostro sforzo muscolare.

Quali sono le ragioni che spingono il meccanicismo a dare una posizione privilegiata alle percezioni della materia e del movimento? La prima ragione, d'ordine psicologico, è che le qualità sensoriali che stanno alla base della percezione dell' estensione e del movimento accompagnano tutte le altre qualità sensoriali: qualunque sensazione ci dà più o meno vagamente notizia di un' estensione e di un movimento. Inoltre, i sensi che ci forniscono le altre qualità sensoriali sono localizzati in un punto dell'organismo, mentre il tatto e il senso muscolare sono estesi a tutto l'organismo; sicchè mentre noi possiamo, nella vita ordinaria, sopprimere d'un colpo un gruppo di sensazioni, pur di mettere gli organi di senso nelle condizioni di non agire, non possiamo invece sopprimere del tutto le sen-

sazioni tattili e muscolari. Poi, le qualità tattili e muscolari ci appaiono le più indipendenti tanto dalle condizioni esterne quanto dalle condizioni dell'organismo: un oggetto che muta colore ad ogni ora del giorno e diventa oscuro alla notte, appare al nostro tatto sempre ugualmente esteso e d'ugual forma ed offre sempre la stessa resistenza al nostro sforzo muscolare; ed anche per le condizioni degli organi le qualità tattili e muscolari non offrono grandi variazioni; certe illusioni, come p. es. quella dei pesi, non dipendono dalle condizioni dell'organo, ma dal nostro giudizio determinato dall'associazione tra sensazioni muscolari e sensazioni visive. Qui dunque, come ha ben messo in rilievo lo SCHWARZ (1), si rileva il punto di contatto tra il realismo ingenuo e il meccanicismo. Ma la giustificazione della posizione privilegiata data alle qualità del senso tattile e muscolare sulle altre qualità sensoriali non è la stessa nel realismo ingenuo e nel meccanicismo; in fondo la ragione principale della scelta fatta dal meccanicismo è sempre quella su cui abbiamo più volte insistito: il carattere di *misurabilità* che hanno l'estensione e il movimento per mezzo dei rapporti spaziali e temporali. Per questo il meccanicismo, volendo misurare il decorso di tutti i fenomeni, ha cercato di associarli con qualità direttamente quantificabili; per questo anche, volendo concepire la realtà come fornita di quel solo aspetto per cui è assimilabile dal pensiero, ha dato valore di realtà a ciò che è misurabile ed ha cercato di dedurre in concreto tutti i fenomeni fisici da quei processi meccanici che sono soltanto un mezzo di misurazione di qualità e di cangiamenti non direttamente quantificabili (2).

Sta qui il punto vulnerabile della metafisica meccanicistica. Le qualità tattili e visive che ci servono a percepire forme, estensioni, movimenti sono qualità sensoriali come i colori,

---

(1) SCHWARZ, *Das Wahrnehmungsproblem vom Standpunkte des Physikers, des Pysiologen und des Philosophen* (Leipzig. 1892): pp. 21 sgg.: *Der Einfluss des ersten naiv-realistischen Dogmas in der Physik.*

(2) Questo basta a confutare l'opinione espressa più volte dal MACH: che i fenomeni fisici furono ridotti a processi meccanici sol perchè il movimento fu, storicamente, il primo fenomeno studiato, e la meccanica divenne la base delle altre scienze fisiche sol perchè si costituì per prima come scienza; che se si fosse prima studiato il calore e conosciutene le leggi, si sarebbe cercato di ridurre tutti i fenomeni a calore. Invece la riduzione di tutti i fenomeni a processi meccanici fu possibile perchè i processi meccanici offrono un mezzo di misurazione quale nessun altro gruppo di qualità sensoriali può offrire.

i suoni, le temperature; che significato può avere il considerare alcune di queste qualità come l'origine di altre? Come può la qualità del calore appresa dai punti dell'epidermide capaci di ricevere eccitazioni termiche essere l'effetto di un'altra qualità, il movimento molecolare? come può il suono, appreso dall'udito, stare in rapporto di dipendenza causale dal movimento vibratorio appreso dalla vista o dal tatto? Noi possiamo, in questo caso, dire che lo stesso stimolo esterno agendo sull'orecchio provoca la sensazione del suono mentre agendo sulla vista o sul tatto determina sensazioni di movimento; potremo da ciò fare alcune induzioni sul modo come dev'essere concepito lo stimolo esterno; ma questo non ci autorizza affatto ad attribuire al suono minor valore di oggettività che al movimento, sol perchè l'uno è percepito dall'orecchio e l'altro dal tatto; nè siamo autorizzati a chiamare reale l'estensione incolora e soggettivo il colore. Non è dunque possibile stabilire una differenza di valore tra le qualità sensoriali; la famosa distinzione tra « qualità primarie » e « qualità secondarie », base del meccanicismo, dev'essere respinta. I processi meccanici sono altrettanto fenomenici quanto tutti gli altri cangiamenti qualitativi; che se i diversi gruppi di fenomeni potessero anche ridursi ad un unico tipo, non saremmo autorizzati a dire che l'origine oggettiva dei fenomeni è il movimento, perchè anche il movimento è fenomeno. La *riduzione* delle differenze qualitative a processi meccanici non può dunque esser ammessa. Come dato di fatto dobbiamo ammettere il parallelismo che si osserva nel decorso di più processi qualitativi, la concomitanza che dentro certi limiti si può stabilire tra più serie di cangiamenti (1); ma non possiamo, se non arbitrariamente, trasformare un rapporto di corrispondenza tra diversi processi fisici in un rapporto di dipendenza causale di una qualità sensoriale da un'altra.

L'importanza di questo parallelismo tra i processi meccanici e gli altri cangiamenti qualitativi è immensa proprio per la ragione per cui il meccanicismo ha creduto di poter considerare i primi come più reali; i processi meccanici sono i soli capaci di diretta ed esatta misurazione, e quindi la corrispondenza tra i processi meccanici e gli altri cangiamenti qualitativi rende possibile una misurazione esatta di questi per mezzo del loro

(1) Schwarz, *Das Wahrnehmungsproblem*, pp. 88 sgg.

riferimento a quelli. E qui dobbiamo distinguere due casi: alcune volte le due serie - i processi meccanici e i cangiamenti qualitativi corrispondenti - sono ambedue oggetto di percezione, onde la correlazione parallelistica si può stabilire senza oltrepassare il campo dell'esperienza: così accade p. es. quando, mentre coll' occhio e col tatto vediamo o tocchiamo corpi in movimento vibratorio, coll' orecchio udiamo un suono di determinata altezza, o quando osserviamo che a certe variazioni di temperatura corrispondono altre variazioni nella lunghezza, nel volume ecc. dei corpi. Qui percepiamo le due serie correlative e possiamo esprimere l'una *in funzione* dell'altra: possiamo misurare la diversa altezza dei suoni fondandoci sul numero delle vibrazioni dei corpi, possiamo graduare le varie temperature per mezzo degli aumenti e diminuzioni di lunghezza dei corpi; ma non avrebbe significato il dare valore di oggettività alla serie meccanica e considerare l' altra come soggettiva. In altri casi soltanto una delle due serie è percepibile, la serie che il meccanicismo considera come secondaria, e la serie meccanica non ci è data direttamente; in questi casi noi « costruiamo » la serie meccanica per servircene come mezzo di misurazione della serie qualitativa percepibile; tale è il caso dei fenomeni luminosi. Il meccanicista crede che nel mondo esterno, al di fuori del rapporto colla coscienza, esistano delle vibrazioni impercettibili di un mezzo incapace di essere appreso come tale dai nostri sensi, e che effetto dell' azione di tali vibrazioni sul soggetto cosciente sia la sensazione delle luci colorate; il movimento vibratorio dell' etere è per il meccanicista un processo reale e primario, e la luce è un fatto secondario che « succede » al processo meccanico a causa della presenza del soggetto, e potrebbe mancare se mancasse l' organo recettore. Ma in verità il processo primario è la sensazione di luce; e siccome le luci colorate, prese per sè, non sono comparabili, per poterle paragonare e per poterne dare la misura riferendole a cangiamenti quantitativi di una sola qualità, diciamo che ad una certa luce colorata corrisponde un dato numero di vibrazioni eteree al minuto secondo, a un'altra luce colorata un altro numero e così via. I processi meccanici sono soltanto l' « unità di misura » dei cangiamenti qualitativi; unità di misura nel senso che per confrontare e misurare qualità sensoriali diverse, come i diversi colori o come luce e calore, è necessario che le riferiamo ad una stessa qualità, quasi che le « traduciamo » in una stessa

specie di cangiamenti, quali sono i processi meccanici; ed allora possiamo esprimere le differenze di qualità o le differenze d'intensità per mezzo di differenze quantitative dei processi meccanici. Un'unità di misura in questo duplice senso qualitativo e quantitativo non potrebbe esserci offerta se non dai processi meccanici, essendo i soli processi qualitativi capaci di quautificazione diretta. Ma rimane in chiaro che, in tutti questi casi, il processo meccanico è semplicemente un artificio con cui la mente riesce ad assoggettare al calcolo matematico fenomeni che, per sè presi, non sarebbero misurabili. Ciò ammesso, non diremo più col meccanicista: ogni volta che si producono 450 trilioni di vibrazioni eteree al secondo, percepiamo una luce rossa; ma: ogni volta che percepiamo una luce rossa, la misuriamo con 450 trilioni di vibrazioni al secondo. Con questo non è affatto enunciata l'origine oggettiva nè la condizione del ripresentarsi della luce rossa.

Le stesse considerazioni che abbiamo fatto per l'etere e le sue vibrazioni, correlato meccanico dei fenomeni luminosi e dei fenomeni elettrici, potremmo ripetere per i movimenti molecolari, correlato meccanico dei fenomeni termici. E critiche analoghe possono rivolgersi contro la stessa ipotesi atomica: gli atomi, forniti di qualità tattili e muscolari, dell'estensione, della solidità, della durezza, del peso, non possono essere concepiti come realtà ultima, perchè non si può dar valore di realtà a delle qualità sensoriali, neppure se, per condizioni speciali (la piccolezza p. es.), escono dal campo dell'esperienza reale. La teoria atomica può essere soltanto, secondo l'espressione degl'inglesi, un « modello » per la chiara rappresentazione e la misura dei cangiamenti qualitativi; non può essere una teoria metafisica che pretenda rivelarci la natura del reale che forma il substrato delle nostre sensazioni. Che anzi, come disse il Lange, « se.... fosse necessario optare tra la sensazione e il movimento degli atomi, se fosse necessario dichiarare realtà l'una di queste cose e qualificare l'altra come semplice parvenza, si avrebbero migliori ragioni per dichiarare realtà la sensazione e la coscienza, mentre gli atomi e i loro movimenti passerebbero per semplici apparenze. Che noi fondiamo la nostra conoscenza della natura su queste apparenze, non vuol dire. In questo caso, la conoscenza della natura sarebbe solamente un analogo della conoscenza reale; sarebbe un mezzo di orientarsi, come una carta geografica, che ci rende grandissimi

servigi, quantunque sia lungi dall'essere il paese stesso che noi visitiamo col pensiero » (1). Da questo punto di vista, il meccanicismo non si presenta più come un'ipotesi metafisica, non è più un tentativo di oltrepassare l'esperienza penetrando nel cuore della realtà, non mira a distinguere ciò che è soggettivo e ciò che è oggettivo nel mondo della nostra esperienza. Interpretato in questa maniera che possiamo dire « formale », il meccanicismo consiste in fondo in questo: nel constatare il parellelismo nel decorso di due serie di fenomeni, di cui l'una è esattamente misurabile, e nell'esprimere la seconda in funzione della prima; e, quando l'esperienza non li offra, nel creare degli schemi meccanici che servano di mezzo di misurazione di fenomeni non direttamente quantificabili. Nel primo caso il parallelismo tra le due serie percettibili è un fatto di cui va tenuto conto per intendere la natura dello stimolo esterno; nel secondo caso le « illustrazioni meccaniche », se servono per classificare e misurare i fenomeni, non ne « spiegano » l'origine e lo svolgimento. In ogni caso, il meccanicismo non ci dà una spiegazione dell'origine delle differenze qualitative; il meccanicismo come ipotesi metafisica non ha alcun valore; e la scienza della natura esterna non ha il diritto di oltrepassare il mondo delle qualità per derivarle da una realtà che ne sia sfornita.

Fatte così le osservazioni generali alla concezione meccanica della natura, vediamo di addentrarci nell'esame delle singole teorie fisiche inspirate a quella concezione. Dopo avere riconosciuto che l'analisi della realtà compiuta dal meccanicismo si arresta ai due elementi ultimi di materia e movimento, cercheremo ora di vedere se siano sufficienti questi elementi irriducibili per spiegare i fenomeni fisici o se sia necessario aggiungervi qualche altro elemento eterogeneo; vedremo dapprima se è possibile escludere dalla fisica il concetto di forza, e le nostre discussioni ci condurranno a riconoscere l'impossibilità di eliminarlo dalla teoria fisica. Procedendo quindi sempre sulla medesima traccia, ci domanderemo se è almeno possibile ridurre tutte le forze od energie agenti nella natura ad un'unica forma oppure se è necessario riconoscere delle differenze qualitative tra le energie. E poichè la critica delle diverse dottrine escogitate per ridurre tutte le forme di energia ad energia cinetica ci mostrerà l'inanità di questi tentativi

(1) LANGE, *Geschichte des Materialismus*, (trad. franc.), vol. II, p. 171.

e la necessità di ammettere delle forme di energia qualitativamente differenti, vedremo in ultimo se sarà almeno possibile considerare come qualitativamente omogenei gli elementi della realtà in cui s'incentrano le diverse forme di energia. Se riusciremo a dimostrare non fondata anche quest'ultima assunzione e necessaria l'ammissione di differenze qualitative tra gli elementi della realtà esterna, riterremo di avere respinta la concezione meccanica della natura da tutte le sue posizioni.

Venendo dunque all'esame concreto delle varie teorie della fisica moderna, richiamiamo rapidamente i presupposti metafisici generali del meccanicismo. Materia e movimento sono disparati, irriducili l'uno all'altro; tanto la derivazione del movimento dalla materia, quanto la derivazione della materia dal movimento, renderebbero inconcepibile il principio d'inerzia, il quale ha significato solo se si ammette da un lato che la materia non possa avere nessun effetto sul movimento (non possa spontaneamente aumentare nè diminuire la propria accelerazione), dall'altro che il movimento non possa creare la materia. Più oltre accenneremo ai tentativi recenti di eliminare questa dualità e li sottoporremo a critica: nel meccanicismo classico non si riconobbe mai la possibilità di eliminarla.

Dalla disparità rigorosa di materia e movimento scaturiscono queste due conseguenze: 1° che la materia non può essere causa di movimento, perchè non può trasformare nulla di sè in movimento; 2° che, reciprocamente, il movimento non può nè creare nè distruggere nuova materia. Dalla prima di queste conseguenze si ricava ancora che ogni movimento ha la sua origine in un altro movimento; considerando allora il movimento per l'aspetto quantitativo, bisogna ammettere che il movimento di ciascuna massa sia quantitativamente identico al movimento o ai movimenti che gli hanno dato origine; dunque la quantità del movimento si conserva attraverso tutti i cangiamenti; è il « principio dell'indistruttibilità del movimento », in base a cui ogni processo fisico (meccanico) va considerato come sostituente un altro processo che gli ha dato origine e che conteneva quantitativamente gli stessi elementi del nuovo processo. Dalla seconda delle conseguenze suaccennate deriva, in maniera analoga, che ogni massa non può provenire che dall'unione o dalla suddivisione di altre masse, e che quindi in ogni cangiamento la quantità di materia rimane inalterata;

è il « principio dell'indistruttibilità della massa ». Infine, altri due principî si ricavano da questi presupposti: 1° che le unità di materia sono sostanzialmente identiche; quando infatti si dà della materia una definizione quantitativa e non si riconoscono in essa altre proprietà che quelle misurabili, tra le unità di materia non possono intercedere differenze qualitative; 2° che ogni cangiamento consiste in un movimento, e quindi la capacità a produrre cangiamenti è sempre capacità a produrre movimenti (o, come oggi si dice, ogni energia potenziale è di natura cinetica). È possibile dare ragione di tutti i fenomeni con questi soli presupposti?

Il tentativo più rigoroso di costruire l'universo colle sole proprietà geometriche e meccaniche è rappresentato dalla fisica cartesiana, la quale, secondo la scultoria espressione di Leibniz, non riconosce nella natura altri elementi che « l'étendue et le changement tout nud »; la materia è identica all'estensione nelle tre dimensioni dello spazio, continua e quindi divisibile all'infinito. Unica proprietà delle porzioni di materia, oltre a quelle geometriche, è il movimento. Materia e moto sono quantitivamente costanti. Per il fatto stesso che non ammette nella natura altre proprietà che quelle geometriche e meccaniche, la fisica cartesiana è la più lontana di tutte dall'offrire una spiegazione dell'origine delle differenze qualitative. Ad essa possono rivolgersi queste principali obiezioni:

1.° La proprietà meccanica fondamentale, il movimento, presuppone una materia fornita di altre proprietà oltre quelle geometriche; lo spazio, pel fatto stesso che è la condizione di ogni movimento locale, non può muoversi (giacchè dovrebbe sempre muoversi nello spazio, il che è assurdo); quindi una materia identificata collo spazio sarebbe condannata all'immobilità assoluta. Il movimento, in ultima analisi, è un effetto che segue alla rottura dell'equilibrio; ma in una materia continua e perfettamente omogenea, nella quale non intervengano azioni estranee, non è possibile che l'equilibrio sia rotto. Per spiegare la rottura dell'equilibrio e l'origine dei cangiamenti bisogna o ammettere l'intervento di una forza estrinseca o riconoscere un'eterogeneità originaria tra gli elementi costitutivi della natura. Cartesio si appigliò alla prima ipotesi; ma la sua spiegazione non è sufficiente. Supponiamo, infatti, che per opera di una forza superiore sia stato rotto l'equilibrio in un punto dell'universo; una porzione di materia si muoverà, e il

suo movimento provocherà lo spostamento di un'altra porzione di materia e così via, finchè si sarà tornati alla prima porzione che si è spostata; così nasce il movimento di un circolo di corpi, germe del vortice che darà poi origine alla separazione dei tre elementi. Ma così si spiega l'origine di un vortice; tutto il rimanente dell'universo rimarrebbe in equilibrio; dunque sarebbe necessario moltiplicare l'intervento delle forze estrinseche. Non solo: ma una volta originatosi un vortice di materia omogenea, senza l'intervento di forze non riducibili alle forze meccaniche non si spiega perchè non sia rimasto eternamente un vortice di materia omogenea: l'ulteriore differenziazione qualitativa è inesplicabile come l'origine prima del movimento.

2.° La proprietà della materia di dividersi in porzioni capaci di spostarsi in blocco presuppone che queste porzioni abbiano limiti definiti, per cui ciascuna formi un tutto compatto, e che le diverse porzioni poi conservino durante lo spostamento questi limiti che ne costituiscono la *figura*. Ma le porzioni dello spazio puro e semplice non hanno limiti reali, non possono individuarsi, distinguersi nel continuo dai cui nascono; ogni confine che si stabilisca tra le regioni dello spazio omogeneo e continuo è un confine ideale. Se dunque la materia dev'essere divisibile in porzioni che abbiano e *conservino* una determinata figura, dev'essere fornita di altre proprietà oltre quelle geometriche.

3.° Ma ammettiamo che la materia così concepita sia divisibile; tale divisione è forse arbitraria, non regolata da alcuna legge? da che dipende che una porzione della materia s'individui assumendo quella determinata grandezza e configurazione? Supponendo che in un punto dell'universo si rompa l'equilibrio e si richieda uno spostamento della materia: quanta parte se ne staccherà e inizierà il movimento in circolo che formerà il vortice? a qual distanza dal punto in cui si è rotto l'equilibrio si stabilirà il distacco della porzione di materia? Anche qui si pone la stessa alternativa di prima: o si ammette una eterogeneità nella materia (p. es. delle differenze di densità), o bisogna ammettere l'intervento di forze estrinseche che regolino il frazionamento della materia omogenea; nell'un caso e nell'altro si oltrepassano le proprietà geometriche e meccaniche.

4.° Coi soli concetti di estensione e movimento non si dà ragione di un'altra qualità della materia: la resistenza. Ammettiamo che in un punto dello spazio s'individui una porzione

di materia capace di movimento; se la porzione mobile è circondata da ogni parte da materia ugualmente resistente, in qual direzione si svolgerà il movimento? Ma concediamo che il movimento si determini in una direzione; esso dovrà essere un movimento rettilineo, perchè nessuna forza può intervenire che ne incurvi la traiettoria; e d'altra parte il movimento naturale è un movimento rettilineo (il movimento per inerzia), secondo quanto la scienza moderna oppone ad ARISTOTELE. Allora come si determina l'incurvamento del moto che diviene circolare e vorticoso? Non altrimenti che se si ammette che i corpi incontrino una resistenza nel muoversi in una data direzione e siano perciò costretti ad incurvare il loro cammino; ma allora si presuppone una proprietà che andrebbe spiegata. In realtà, per altro, ci troviamo qui di fronte ad una delle contraddizioni più gravi della fisica cartesiana; il movimento circolare, per cui allo spostamento iniziale di un corpo succede lo spostamento di una serie chiusa, rientrante in sè stessa, di corpi, presuppone che l'universo sia limitato nello spazio: perchè se è illimitato, la serie dei corpi che si muovono non può chiudersi in circolo, dev'essere una serie lineare indefinita; ma d'altra parte CARTESIO, identificando la materia collo spazio, ammette esplicitamente (1) che l'universo sia infinito. I rinnovatori moderni della teoria dei vortici, con più coerenza, hanno ammesso che l'universo sia limitato nello spazio.

5.° Anche un'altra proprietà elementare della materia non si ricava dalle proprietà geometriche e meccaniche: il peso. La nozione di peso è affatto estranea alla geometria: lo spazio non ha peso, quindi la materia identificata collo spazio non può presentare differenze di peso. Perciò CARTESIO cercò di spiegare la gravità per mezzo di un movimento: quando un corpo, abbandonato a sè stesso, cade in terra, la causa della caduta è che non ha trovato nella materia sottostante (l'aria) una forza di resistenza che si sia opposta alla sua caduta; sicchè, in fondo, non è tanto quel corpo che è caduto, quanto piuttosto l'aria sottostante che si è elevata per occupare il suo posto (2). La spiegazione, che si connette

(1) CARTESIO, *Principia philosophiae*, lib. II, art. 21.

(2) « *Atque ita gravitas cuiusque corporis terrestris, non proprie efficitur ab omni materia coelesti* (= aria) *illud circumfluente, sed praecise tantum ab ea ipsius parte, quae, si corpus istud descendat, in eius locum immediate ascendit, ac proinde quae est illi magnitudine plane aequalis* ». (*Principia philosophiae*, lib. IV, art. 23).

con quella della gravitazione dei pianeti a cui accenneremo più oltre, è illusoria, perchè presuppone una differenza qualitativa, che qui è proprio differenza di peso, tra l'aria e i corpi terrestri; la teoria cartesiana espone il fatto, ma non lo spiega: si potrebbe infatti domandare perchè la materia celeste non offre resistenza al peso del corpo terrestre, se vi è omogeneità di natura tra tutti gli elementi della realtà fisica. Vi è qui una prova luminosa della necessità di introdurre nella fisica un altro concetto oltre quello di materia e movimento: il concetto di forza.

6.° Se passiamo da queste proprietà elementari alle altre proprietà fisiche, sempre più ci troviamo nella difficoltà di spiegarle per mezzo della materia e del movimento. Le qualità, è vero, nella fisica cartesiana sono ridotte a parvenze soggettive; ma se la materia è sempre omogenea, dove sono le condizioni che rendono possibile il sorgere di qualità sensoriali differenti? Fin che si rimane all'aspetto quantitativo della materia, non ci sono difficoltà: un vascello, dice Cartesio, racchiude altrettanta materia se è pieno di mercurio o se è pieno d'aria; e sta bene; ma pure io percepisco l'aria come differente dal mercurio; dov'è l'origine di questa differenza? Nella quantità no, perchè le quantità sono uguali; dunque bisogna ammettere altro genere di differenze che non le quantitative. La difficoltà è così grave che i cartesiani giunsero a spiegare i fenomeni fisici per mezzo di enunciati in cui il circolo vizioso è evidente; p. es. quando definiscono la luce come « una pressione esercitata sull'etere dal movimento dei corpi « infiammati » e trasmessa istantaneamente alle più grandi distanze »: la qualità che si deve spiegare è così presupposta.

7.° Abbiamo detto che nella fisica cartesiana il movimento è sempre relativo; ma tra il movimento così concepito e il cangiamento qualitativo vi è incompatibilità, perchè quest'ultimo non è, come quello, relativo ad un punto di riferimento; sicchè se il cangiamento qualitativo consistesse in un movimento, dovrebbe accadere che le proprietà di un corpo da un punto di vista cangino, da un altro restino inalterate, come un corpo da un punto di vista è in movimento, da un altro punto di vista è in quiete. Perchè il cangiamento qualitativo sia concepibile, bisogna ammettere altri fattori che quelli offerti dalla geometria e dalla foronomia. Il difetto d'origine

della fisica cartesiana era di non essere fondata su dati sperimentali e perciò di essere insufficiente a spiegare i dati dell'esperienza: essa pretendeva a quell'unità di principio e di sviluppo che è propria delle scienze deduttive. Il compito si era dimostrato inattuabile; ma ciò non ostante, i capisaldi della fisica cartesiana non furono abbandonati mai; anzi, la riduzione di tutte le qualità alle proprietà geometriche e meccaniche rimase l'ideale di molti scienziati, i quali solo a malincuore consentirono gli strappi al meccanicismo genuino.

Un ritorno compiuto al cartesianismo, sebbene fondato su più solide basi e con qualche sostegno sperimentale, è la recente teoria degli atomi vortici di William Thomson: una teoria sulla costituzione della materia ammirabile come quella cartesiana per la sua grande semplicità, sebbene altrettanto inadeguata ai problemi che chiedono soluzione. Richiamiamone in breve i fondamenti e le linee generali. Il punto di partenza è dato da un teorema d'idrodinamica dimostrato da Helmholtz, secondo il quale quando in un fluido perfetto, senza attrito interno, si produce un movimento vorticoso, 1° gli anelli di questo vortice (Wirbelfäden) sono formati sempre delle stesse particelle, e nessuna particella di fluido che in origine non sia stata posta nel movimento vorticoso può esservi trascinata; 2° le particelle appartenenti ad una linea-vortice in un dato momento continuano sempre ad appartenere alla stessa linea-vortice; 3° lungo tutta la lunghezza di uno stesso anello vortice il prodotto della sezione trasversale di esso per la velocità di rotazione è costante; d'onde deriva che un anello vortice non può aver termine nel seno di un liquido incompressibile, perchè bisognerebbe che la velocità di rotazione fosse infinita al termine del vortice se la sezione trasversale dovesse annullarsi (1). Gli anelli-vortici di Helmholtz, dunque, s'individuano nel fluido originario e poi rimangono distinti, si comportano come corpi perfettamente elastici, possono variare di forma oscillando intorno alla forma circolare, che rappresenta lo stato di equilibrio. Sperimentalmente, queste proprietà furono riscontrate in certi anelli di fumo che si osservano quando una bolla

(1) Helmholtz, *Über Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche der Wirbelbewegung entsprechen* (in Wissenschaftliche Abhandlungen, I, pp. 101 sgg., gli enunciati a p. 102-03, 111-114); *Über discontinuirliche Flussigkeitsbewegungen* (in Wissensch. Abh., I, pp. 146 sgg.).

d'idrogeno fosforato scoppia alla superficie dell'acqua; i quali hanno anche questa singolarità: che se si tenta di tagliarli con una sottile lama, s'inflettono e sfuggono senza lasciarsi intaccare.

Sul modello del fluido perfetto concepito da HELMHOLTZ, il THOMSON pensò la natura della materia. Egli riteneva che l'universo fosse limitato nello spazio e riempito di un fluido omogeneo e continuo, nel quale delle forze originarie, contrarie all'equilibrio, hanno prodotto dei movimenti di rotazione tali da fare individuare nel fluido stesso una quantità di anelli-vortici di dimensioni e forme svariatissime, ma minimi di grandezza, perfettamente elastici, immutabili, insecabili e indistruttibili (1). Prodottisi questi anelli-vortici, quelle forze originarie sono scomparse, e tutte le azioni nel mondo si sono ridotte alle azioni meccaniche dovute agli urti dei minimi anelli-vortici e all'inerzia del fluido universale in cui hanno preso origine. Questi anelli-vortici sono gli atomi della fisica, sono le pietre minime onde sono costruiti tutti i corpi e l'intero edificio dell'universo; essendo scomparse le forze originarie, nessun nuovo atomo-vortice può essere formato e nessuno può essere distrutto, nessuno può svanire nel mezzo universale da cui è stato evocato; le proprietà che ciascun atomo-vortice ha acquistato, cioè la massa e il modo di movimento, le mantiene eternamente. Omogeneo è il fluido primitivo, sono omogenei tutti gli elementi che ne sono risultati; tutte le differenze qualitative derivano dagli aggruppamenti e dai movimenti di essi. L'unità fondamentale della materia viene così stabilita nella maniera più rigorosa.

L'ipotesi di WILLIAM THOMSON sulla costituzione della materia è senza dubbio la più semplice che si possa fare: essa esclude, meno che nell'inizio, l'azione di forze non riducibili a movimenti, ed esclude anche l'individualità originaria degli atomi, riconducendoli e fondendoli tutti nel fluido primitivo omogeneo, sprovvisto d'ogni qualità fuori di quelle con cui CARTESIO nei « *Principia philosophiae* » aveva pensata la *res extensa*. Ma appunto per tale suo carattere, questa dottrina incontra non minori difficoltà di quella cartesiana, della quale

(1) L'ipotesi non è nuova. A CARTESIO, che aveva ammesso che nella materia originaria s'individuassero dei grandi vortici, costituenti poi i varî sistemi planetarî, l'HUYGENS rispondeva di ammettere sì la formazione dei vortici, ma di dimensioni molto più piccole (« *Porro et spatia horum vorticum multo quam ille contractiora pono* », *Cosmotheseos*, p. 139); che sono poi gli atomi.

anzi serve bene a mettere in miglior luce i lati più deboli. Fermiamoci sui punti più vulnerabili.

1.° Anzitutto, vedemmo che il THOMSON, per spiegare l'origine degli anelli-vortici, ammette che nell'interno del fluido continuo costituente il fondo della realtà abbiano nel principio (cioè in un dato momento del tempo) agito delle forze misteriose contrarie all'equilibrio, le quali avrebbero spezzata l'unità del fluido in un numero immenso di particelle animate da movimento vorticoso, e subito dopo questa creazione sarebbero scomparse; la debolezza di questa « spiegazione » è evidente, ma mostra intanto come, una volta ammesso un fluido colle sole proprietà geometriche, le stesse proprietà meccaniche non possano prendervi origine se non per l'intervento di forze estrinseche. Qui tuttavia non dobbiamo ripetere l'accusa di contraddizione che abbiamo rivolta alla fisica cartesiana per avere ammessa la formazione di vortici in un universo illimitato, perche il THOMSON dichiara di ritenere l'universo limitato nello spazio. Ma i teoremi di HELMHOLTZ sull'idrodinamica non potevano essere senz'altro assunti dal THOMSON per fondarvi sopra una costruzione metafisica, e ciò per due ragioni. In primo luogo, gli anelli-vortici di cui HELMHOLTZ ha date le equazioni del movimento, presuppongono l'esistenza di una causa esteriore che li ha prodotti, condizione questa che nel fluido riempiente tutto l'universo non si riscontra e che ha condotto il THOMSON all'ammissione di forze misteriose estrinseche. In secondo luogo, l'HELMHOLTZ ebbe cura di mettere in rilievo che l'esistenza di anelli-vortici in un fluido omogeneo e incapace di attrito interno era soltanto una finzione matematica, un caso limite irraggiungibile fisicamente; e che gli anelli-vortici potevano prodursi solo in un fluido in cui l'attrito interno – *reso possibile dalla discontinuità della materia* – rende a sua volta possibile l'individuarsi degli anelli-vortici e il loro conservarsi con la stessa parte del fluido che fin dal principio è stata trascinata nel movimento vorticoso (1). Questo equivale

(1) « Die Existenz solcher Wirbelfäden ist für eine ideale nicht reibende Flüssigkeit eine mathematische Fiction, welche die Integration erleichtert. In einer wirklichen der Reibung unterworfenen Flüssigkeit wird jene Fiction schnell eine Wirklichkeit, indem durch die Reibung die Grenztheilchen in Rotation versetzt werden, und somit dort Wirbelfäden von endlicher, allmählig wachsender Masse entstehen, während die Discontinuität der Bewegung dadurch gleichzeitig ausgelichen wird ». HELMHOLTZ, *Ueber discontinuirliche Flüssigkeitsbewegungen* (in Wissens. Abhandl., I, p. 151).

a dire che nel fluido perfettamente *continuo* ed omogeneo posto dal THOMSON come origine dell'universo ogni differenziazione è impossibile, perchè ogni individuazione, sia pur momentanea, di anelli-vortici richiede una discontinuità e un' eterogeneità nel fluido.

2.° Gli anelli-vortici di HELMHOLTZ s' individuano nel fluido, ma rimangono sempre circondati da fluido immobile; analogamente, il THOMSON dovè ammettere che gli atomi-vortici non siano separati dal vuoto, ma da altre parti immobili del fluido (l'etere). D' altra parte, perchè le equazioni di HELMHOLTZ siano applicabili bisogna ammettere che il fluido sia perfettamente incompressibile; su questa presupposizione si fonda la terza parte del suo teorema fondamentale, per cui il prodotto della distanza di due particelle vicine di una linea-vortice per le rispettive velocità angolari di rotazione è costante; perciò anche il THOMSON concepì il suo fluido universale come incompressibile. Ma tra le due assunzioni della continuità della materia e della sua incompressibilità vi è contraddizione quando si vogliano spiegare i casi concreti, p. es. la dilatazione dei corpi: gli atomi non possono aumentare o diminuire le loro distanze se il fluido interatomico è incompressibile; una delle più importanti proprietà della materia rimane così non spiegata.

3.° Gli atomi-vortici individuatisi nel fluido sono, secondo l'ipotesi del THOMSON, eterni, immutabili, indistruttibili; ma non si dimentichi che eterni sono i vortici. Ora, un movimento vorticoso può perdurare finchè durano le forze che incurvano il movimento delle particelle del fluido; ma una volta che le forze sono scomparse, per la legge d'inerzia ciascuna particella dovrebbe continuare il movimento secondo la tangente nel punto della curva in cui è cessata l'azione della forza, quindi dovrebbe assumere un movimento rettilineo e il vortice dovrebbe finire col distruggersi. Quali forze invece, secondo il THOMSON, mantengono in eterno, immutabile per grandezza e per forma, il vortice costituente l'atomo? Nessuna, perchè le forze originarie sono scomparse e nessun'altra forza reale agisce nel mondo dopo la formazione degli atomi-vortici; allora nulla impedisce che gli atomi tornino a svanire nel fluido universale da cui le forze misteriose li hanno solo temporaneamente evocati.

4.° Finalmente, come la fisica cartesiana si trovava nell'impossibilità di dare ragione di tutte le proprietà fisiche e doveva ricorrere all'introduzione tacita di differenze qualita-

tive ammettendo tre elementi o specie di materia, così la teoria del THOMSON, la più semplice ipotesi sulla costituzione della materia, « s'enfonce si profondément au dessous des apparences sensibles, qu'il devient bien malaisé de remonter jusqu'à celles-ci et de fournir l'explication des faits que nous constatons chaque jour. Les plus simples d'entre eux semblent sans lien avec les fondéments de la théorie » (1).

Da questo rapido esame risulta che le teorie più rigorose nell'ammettere la realtà delle sole proprietà geometriche e meccaniche non sono riuscite a dare una spiegazione dell'origine delle differenze qualitative; e quando tentano di discendere dai principî astratti alla spiegazione di fenomeni concreti, introducono surrettiziamente ipotesi che contraddicono ai loro principî fondamentali ed elementi che sono irriducibili agli elementi geometrici e meccanici. Le altre teorie, che ora dobbiamo esaminare, hanno dovuto ammettere qualche concetto eterogeneo rispetto a quelli della meccanica, sebbene abbiano sempre fatto ogni sforzo per farne l'uso più limitato. E il primo concetto che ci si presenta è quello di *forza,* introdotto per la prima volta nella scienza moderna dal NEWTON e che serve di base così alla sua come alla fisica, pur tanto diversa nel metodo, del LAGRANGE.

III. — La forza.

ENRICO HERTZ definiva l'oggetto della meccanica con queste parole: « Sapendo quali sono i movimenti che si producono in certe condizioni, prevedere quali sono i movimenti che si produrrebbero in altre condizioni ». Con questa definizione egli seguiva l'indirizzo di molti fisici i quali mirano ad eliminare dalla scienza della natura, come superfluo, il concetto di forza, pur concedendo che si possa usare, a scopo economico, questa parola, per indicare la causa del movimento. Vero è che se si definisse la forza come « la causa del movimento » se ne lascerebbe indeterminata la natura; ma se si ricorda che per il meccanicismo genuino la causa del movimento non può essere se non altro movimento, si deduce subito che la natura della forza è il movimento: niente dunque di eterogeneo agli ele-

(1) DUHEM, *L'évolution de la mécanique,* p. 176.

menti geometrici e meccanici sin qui ammessi. La definizione della forza allora viene data per mezzo dei concetti di massa e di accelerazione: quando un corpo di massa m, sotto l'azione di altri corpi prova un'accelerazione f, diciamo convenzionalmente che il corpo è sottomesso all'azione di una forza $F=mf$ in grandezza e in direzione. Il vettore mf è dunque « per definizione » la forza (1).

Ridurre la forza a una pura funzione matematica, al prodotto della massa e dell'accelerazione, equivale a negarla come fattore specifico del mondo fisico. Noi dunque ci dobbiamo ora domandare: è possibile eliminare dalla fisica la nozione di forza come qualche cosa di nuovo e di eterogeneo rispetto ai due elementi già ammessi, la materia e il movimento? Per rispondere a questa domanda occorre prima indagare le origini e vedere la successiva evoluzione del concetto di forza.

Non credo che si possa mettere in dubbio che una prima idea della forza ci venga dalla sensazione dello sforzo muscolare che si fa nel premere contro un oggetto che ci offre resistenza e nel sostenere un peso. Nella sensazione dello sforzo muscolare la forza è individuata dai tre caratteri che le si attribuiscono in fisica: l'intensità, che ci è data dal maggiore o minore sforzo che facciamo per vincere la resistenza o per sollevare il peso; la direzione, che è la direzione che prenderebbe l'oggetto resistente se fosse spostato dall'azione della forza, e la direzione inversa di quella del movimento che prenderebbe il peso se fosse lasciato libero di cadere; infine il punto di applicazione, che è l'oggetto resistente o il peso sostenuto. Poichè le differenze tra le forze che noi in tal modo sperimentiamo sono differenze d'intensità di una stessa qualità sensoriale, noi possiamo paragonare gli sforzi muscolari e giudicare del maggiore e del minore dai due; ma, naturalmente, non possiamo darne una misura esatta. Quando attribuiamo agli oggetti fisici la stessa attitudine che abbiamo noi a vincere resistenze e a sostenere e sollevare dei pesi, abbiamo ancora un concetto empirico della forza fisica; vedendo che un oggetto abbandonato a sè stesso cade, pensiamo che ci sia uno sforzo che ne determina il movimento; e non essendoci altra causa del movimento se non il peso del corpo, veniamo a con-

---

(1) Blondlot, *Exposé des principes de la mécanique* (in « Bibliothèque du Congrès international de Philosophie », Paris, 1900; vol. III, pp. 450-51).

siderare come forza il peso stesso. D'altra parte, è una forza anche quella che noi esercitiamo per sostenere il peso ed impedirne la caduta: dunque è legittimo considerare come forza anche la resistenza che i corpi oppongono ad essere spostati. Quando la forza del peso e la forza della resistenza sono ugualmente intense, applicate allo stesso oggetto e dirette in senso inverso, l'effetto delle due forze deve neutralizzarsi e dare l'equilibrio; quando l'una prevale, il punto di applicazione si sposta e la differenza d'intensità tra le due forze è misurata dal movimento che assume l'oggetto.

Tutte queste nozioni sono ancora empiriche e poco esatte; la forza così considerata è una qualità sensoriale e non può avere il rigore che si richiede per l'introduzione di un concetto nella fisica. È quindi necessario passare dalla nozione empirica ad una nozione più rigorosa della forza, che da un lato sia più estesa di quella che possiamo avere per mezzo della qualità della sensazione di sforzo muscolare, dall'altro renda possibile la misura esatta. La definizione fisica della forza è infatti più larga e in parte diversa dalla nozione empirica: forza è detta ogni causa di movimento; e la misura della forza è resa possibile dalla proporzionalità che si presuppone tra la causa e l'effetto, tra l'intensità della forza e la rapidità del movimento, tenendo conto, di più, della resistenza offerta dalla massa spostata: $F=fm$. Questa è dunque la genesi del concetto fisico di forza. Ma qui nasce la prima difficoltà: come si può misurare la massa indipendentemente dalla forza, o la forza indipendentemente dalla massa? Giacchè, perchè l'equazione suddetta possa risolversi, bisogna che due termini (di cui uno è l'accelerazione f, misurabile direttamente) possano essere conosciuti indipendentemente dal terzo; mentre nè la forza può misurarsi senza tener conto della massa, nè la massa senza tener conto della forza. Per il nostro compito, non dobbiamo discutere questa difficoltà inestricabile (1); noi dobbiamo solo avvertire che l'assumere uno dei due termini, m o F, come dato e misurare l'altro in funzione di questo, non basta per ammettere che le due nozioni possano ridursi ad una sola; se la « misura » della forza è data dal prodotto della massa per l'accelerazione, non per questo la « definizione » della forza consiste in questo prodotto; la forza è la

(1) Poincaré, *La science et l'hypothèse* (Paris, 1902), p. 120.

condizione di quel rapporto misurato dal prodotto *fm*. Ugualmente, se è vero che la massa non può misurarsi se non col quoziente della forza per l' accelerazione, è pur vero che nella definizione della massa non entra per nulla il concetto della forza. Le due nozioni non possono nè ridursi l' una all' altra nè essere eliminate.

Si può almeno ridurre la forza a movimento? Così hanno affermato dapprima i cartesiani, poi tutti i sostenitori del meccanicismo genuino, affermando che causa del movimento non può essere altro che il movimento. È questo il punto più delicato del problema; per risolverlo dobbiamo vedere se è possibile arrivare a stabilire i principî fondamentali della meccanica facendo astrazione dal concetto di forza. I principî fondamentali della meccanica sono tre postulati, i quali nè sono dimostrabili razionalmente, nè presentano evidenza assiomatica (1), e la cui enunciazione definitiva è dovuta a NEWTON: 1° « Ogni corpo persevera nello stato di riposo o di moto uniforme rettilineo in cui si trova, finchè qualche forza non agisce su di esso e non lo costringe a cambiare stato »; 2° Le variazioni che si verificano nel moto sono proporzionali alle forze motrici e avvengono nella linea retta in cui questa forza è stata impressa »; 3° « L' azione è sempre uguale ed opposta alla reazione, cioè le azioni di due corpi l' uno sull' altro sono sempre uguali e in direzioni contrarie ». Questi tre postulati della dinamica hanno un significato quando si faccia astrazione dal concetto di forza? — Il principio d' inerzia può essere enunciato dicendo che « ogni punto materiale supposto solo nello spazio non prenderebbe nessuna accelerazione » (2), cioè o non altererebbe

---

(1) Il WUNDT (*Die physikalische Axiomen und ihre Beziehungen zum Casualprincip*, 1866; cit. dal MACH in *Letture scientifiche popolari*), trad. ital., p. 118) enuncia come « assiomi della fisica » le seguenti sei proposizioni: » 1ª In natura tutte le cause sono cause di movimento; 2ª Ogni causa di movimento sta fuori dell' oggetto posto in movimento; 3ª Tutte le cause di movimento agiscono nel senso della linea retta di congiunzione; 4ª L'azione di ogni causa persiste; 5ª Ad ogni azione corrisponde un'uguale reazione; 6ª Ogni azione è equivalente alla sua causa. Lasciando da parte che l'enunciazione delle sei proporzioni non è molto felice (la sesta p. es. si può ricondurre alla quarta), è certo che questi principî, ben lungi dall' essere assiomi, sono postulati, nè evidenti nè dimostrabili; che se, come diciamo sopra, alcuni si ricavano dai concetti fondamentali del meccanicismo, nessuno vorrà dire che questi concetti e le proposizioni che se ne ricavano abbiano l' evidenza dei concetti e degli assiomi della matematica.

(2) V. BLONDLOT, *Exposé des principes de la mécanique* (in Bibliothèque du Congrès Intern. de Philosophie, Paris, 1900; vol. III. p. 448).

lo stato di quiete o non aumenterebbe nè diminuirebbe la velocità del suo movimento, secondo che si trovasse in quiete o in moto. Ma, enunciato così, il principio d'inerzia si potrebbe applicare solo qualora si attuasse una condizione che, come già dicemmo, è in fondo distruttiva della realtà: di un punto isolato nello spazio non si può parlare; e, quel che è più, non si vede come se ne potrebbe *misurare* l'accelerazione se non riferendosi ad un altro punto preso come riferimento. Se vogliamo enunciare il principio d'inerzia in maniera da renderlo applicabile nel mondo dell'esperienza, dobbiamo esprimerlo così: « ogni alterazione nello stato di quiete o nella velocità del movimento di un corpo ha la sua condizione fuori del corpo stesso ». Ora, per eliminare il concetto di forza bisognerebbe dimostrare che tutte le condizioni che alterano lo stato di quiete o la velocità del movimento di un corpo sono movimenti. Ma questo non si può affermare se non arbitrariamente; quando un corpo urta contro un altro che, in ubbidienza allo stesso principio d'inerzia, consideriamo come in riposo, e si arresta, possiamo dire che la causa della cessazione del suo movimento sia un movimento del corpo urtato? Tanto poco si può parlare di movimento del corpo urtato in direzione opposta a quella del corpo urtante, che in certe condizioni (quando la forza del corpo urtante vince la resistenza offerta dal corpo urtato) il corpo urtato può sostituire il primo nel movimento, e la direzione che segue è la stessa che seguiva il corpo urtante prima di arrestarsi. Il meccanicismo ammette una « trasmissione » del movimento, e vedremo ora con quanta ragione; ma ammesso pure che nell'urto il movimento si trasmetta, si potrebbe dire che la causa della trasmissione del movimento dal corpo urtante al corpo urtato sia un movimento del corpo urtato contrario a quello trasmesso? L'ipotesi è sforzata, contraria all'esperienza ed anche alla concezione meccanica; perchè quale sarebbe la causa del movimento del corpo urtato? Non se ne può assegnare alcuna; la stessa legge della conservazione del movimento verrebbe rotta se si considerasse la resistenza come un movimento. Dunque non si può ridurre a movimento la forza di resistenza, e quindi l'attrito. Questo c'è di giusto nella concezione meccanica: che per « misurare » la forza di resistenza non abbiamo altro mezzo che di riferirci al movimento che essa sarebbe capace d'imprimere (o, che è in fondo lo stesso, alla diminuzione di velocità del corpo ur-

tante), perchè la forza di resistenza per sè non possiamo misurarla. Poi, il meccanicismo crede, come abbiamo detto, che nell'urto si colga sul vivo un esempio della trasmissione del movimento da un corpo a un altro. Se non che, le critiche del Lotze hanno ormai messo in chiaro che questa trasmissione è illusoria, perchè essendo il movimento uno « stato » (una qualità) del corpo urtante, è assurdo pensare che uno stato possa lasciare un agente e trasportarsi in un altro; che vi sia una corrispondenza qualitativa tra il movimento del corpo urtante e il movimento del corpo urtato non vuol dire che il movimento « passi » dal primo al secondo. La corrispondenza va intesa in questo senso: che il primo corpo esercita sul secondo un'azione che determina su di esso un movimento, mentre la reazione del corpo urtato sul corpo urtante determina in questo la cessazione del movimento. Concludendo, per enunciare lo stesso principio d'inerzia non si può fare astrazione dal concetto di forza, perchè il principio d'inerzia riduce ogni azione ad urto e l'urto non si comprende se non si ammettono come cause dei movimenti delle azioni che non si risolvono in movimenti.

Il secondo postulato della dinamica ha due aspetti, l'uno quantitativo e l'altro qualitativo. Dal punto di vista quantitativo, esprime la proporzionalità delle variazioni del movimento all'intensità della forza agente, ed abbiamo veduto che si riduce ad una tautologia dopo che si è convenuto di misurare la forza per mezzo delle variazioni di movimento. Ma dal punto di vista qualitativo questo postulato afferma che lo spostamento che risulta dall'azione simultanea di più forze è lo stesso che risulterebbe dall'azione successiva delle medesime forze (principio dell'indipendenza dei movimenti). Si suol dire che i movimenti che risulterebbero dall'azione successiva delle forze « si compongono » nel movimento risultante; ora questo si può dire in quanto si considerano i movimenti come delle quantità capaci di essere addizionate; ma se ci poniamo nel punto di vista qualitativo non possiamo più dire che i movimenti si compongono e danno luogo ad un nuovo movimento. Solo per convenzione, p. es., si può dire che il movimento di un corpo lungo la diagonale di un parallelogramma è « composto » dei movimenti del punto stesso lungo due lati, o che un movimento curvilineo risulta dalla composizione di più spostamenti minimi rettilinei; un movimento, qualitativamente considerato, non può essere decomposto, e noi nel movimento lungo la diagonale non

riconosciamo una somma o una media dei movimenti lungo i lati, nè nel moto curvilineo riconosciamo un risultante di più moti rettilinei. La difficoltà è così grave che perfino CARTESIO fu costretto a distinguere il movimento dalla «determinazione» del movimento e ad ammettere che la composizione e la decomposizione si applichino alle determinazioni, non ai movimenti (1); ma che sono queste determinazioni, se non le forze? Dunque quelle che si compongono sono le forze; il movimento che risulta dall'azione simultanea di più forze non è un composto di tanti movimenti, ma è l'effetto dell'azione della forza risultante dalla combinazione delle forze agenti. La chiara enunciazione del secondo postulato della dinamica richiede dunque necessariamente il concetto di forza, altra prova che non si può identificare la forza col movimento.

Quanto al terzo postulato della dinamica, il principio dell'uguaglianza di azione e reazione, non si potrebbe neppure enunciare facendo astrazione dal concetto di forza (2). Due corpi perfettamente identici possono assumere uguali accelerazioni, ma non si può dire che queste accelerazioni rappresentino l'effetto di un'azione e di una reazione se non si ammettono delle forze per cui i due agenti agiscono l'uno sull'altro. Ciò è tanto vero che il MACH ha assunto questo postulato, col concetto di forza che vi è implicito, come irriducibile e indimostrabile, e definisce in base ad esso l'uguaglianza tra le masse: «Si chiamano corpi di masse uguali due corpi che, agendo l'uno sull'altro, si comunicano accelerazioni uguali e direttamente opposte» (3). Il MACH critica a fondo la definizione newtoniana della massa come «quantità di materia», ritenendola insufficiente a servire di base al principio all'uguaglianza di azione e reazione; e per questo, rovesciando l'ordine comune in cui si espongono questi concetti, fonda la nozione

(1) V. i *Principia philosophiae*, lib. II, art. 41; lettera al MERSENNE, 21 janv. 1641; cfr. le osservazioni dell'HAMELIN, *Le système de Descartes* (Paris, 1911), pp. 325-326.

(2) Il BLONDLOT (Art. cit. p. 448) enuncia prima i principî della dinamica, tra cui il secondo così: « Deux points matériels déterminent l'un sur l'autre des accelerations dirigées suivant la droite qui les joint, et en sens opposé », e il terzo che stabilisce il valore numerico delle accelerazioni così determinate; e poi (p. 450) soggiunge: « Jusqu'ici nous n'avons pas parlé de forces »; ma è evidente il circolo vizioso, poichè nel « déterminent l'un sur l'autre » è già implicita la nozione della forza.

(3) MACH, *Meccanica* (trad. ital., pp. 216-217).

di massa sul principio sperimentale dell'uguaglianza di azione e reazione. La ragione che ha spinto il MACH a questo rovesciamento è evidentemente questa: che dal concetto di materia non possiamo eliminare le qualità (p. es. la costituzione chimica), e noi non possiamo dire se due masse di uguale quantità di materia ma qualitativamente diverse si comunicano accelerazioni uguali. La critica è giusta in quanto colpisce il meccanicismo in uno dei lati più deboli; tuttavia è giusto osservare che anche il concetto puramente quantitativo che NEWTON aveva della materia poteva ben servirgli di base al principio dell' uguaglianza di azione e reazione. Ma in ultima analisi questa interessante discussione del MACH mostra che del concetto di forza non si può fare a meno. E l'impossibilità di eliminarlo è ancor più evidente quando si tien conto della reazione esercitata dalla massa contro l'azione che tenderebbe ad accelerarne il movimento: se la «reazione d'inerzia» fosse una specie di movimento, si verrebbe a negare il principio d'inerzia.

Riassumendo queste critiche, possiamo concludere che, se da un lato non si ammette che la massa per sè sola possa esser causa del proprio movimento, e dall'altro si riconosce che il movimento come tale non può essere causa di movimento, come risulta dalle critiche del concetto di urto, è impossibile eliminare un dualismo tra i movimenti e le condizioni che li determinano, e quindi è necessario ammettere un elemento irriducibile agli elementi meccanici: la forza.

Da GALILEO in poi, la maggior parte dei fisici fa rientrare la statica nella dinamica, considerando lo stato di equilibrio come un caso limite del movimento. Se le condizioni dell'equilibrio sono dedotte dai principî della dinamica, e se in questi principî è essenziale la nozione di forza, è evidente che per stabilire le condizioni di equilibrio la nozione di forza è essenziale. Possiamo perciò ritenere insostituibile la definizione dello stato di equilibrio come quello in cui due forze uguali e contrarie agiscono sullo stesso punto, sebbene unico mezzo per giudicare se due forze sono uguali ed opposte sia di vederne l'effetto, cioè appunto l'equilibrio del punto di applicazione. Ma possiamo anche andare più oltre: un corpo in equilibrio possiede sempre la possibilità di muoversi quando sia soppresso l'ostacolo che glielo impedisce, cioè la forza che resiste al suo spostamento; ora, che significa che un corpo possiede la capacità di un movimento, un «movimento virtuale», se non che su di

esso agisce una forza che tenderebbe a spostarlo se non ci fosse una forza uguale ed opposta che glielo impedisce? Il principio delle velocità virtuali non può fare astrazione dal concetto di forza; ed è merito di LAGRANGE l'averlo enunciato in modo da dare una definizione delle condizioni di equilibrio applicabile in generale. Il fatto che LAGRANGE abbia dedotta la dinamica dalla statica non ha poi grande importanza. Egli considera i corpi non come sistemi di punti materiali, come NEWTON, ma come i complessi delle proprietà meccaniche e fisiche con cui si presentano all'esperienza immediata, e nota che i corpi possono subire un numero limitato di spostamenti e di deformazioni, quelli cioè compatibili coi *legami* del sistema. Questi legami o condizioni restrittive delle modificazioni del sistema sono considerati da LAGRANGE come *forze* (« forces de liaison »); perciò lo stato di equilibrio, lo stato in cui i legami impediscono al corpo qualsiasi modificazione, si può matematicamente definire come lo stato in cui le forze agenti sopra il sistema fanno prendere il valore zero alla somma degli spostamenti virtuali. Questa definizione è certamente la più esatta e meglio d' ogni altra adattata ai dati dell' esperienza, perchè fa astrazione da ipotesi sulla natura del reale; ed è una definizione che mostra la necessità di tener conto delle forze, giacchè, come le condizioni determinanti, così le condizioni restrittive dei movimenti non possono essere ridotte ad elementi meccanici (1). La meccanica di LAGRANGE ha su tutte le altre il grande vantaggio di evitare ogni presupposto metafisico e di limitarsi a dare un' espressione analitica del decorso dei fenomeni quali l'esperienza ci presenta: scienza fondata sulla esperienza e sul calcolo, coglie ciò che vi è di intelligibile nei fenomeni - i rapporti quantitativi - senza pretendere che questi rapporti esauriscano la natura del reale.

Qui dobbiamo aggiungere alcune osservazioni al proposito della meccanica di HERTZ. È noto che l'HERTZ ha fatto, dopo CARTESIO e in altro senso, il tentativo più rigoroso di eliminare dalla fisica la nozione di forza; ma già il fatto che la sua esposizione della meccanica coincide in gran parte colla

(1) « Comme Leibniz, Lagrange regarde la notion de force comme une des premières de la Mécanique; s' il invoque le mouvement, ce n'est pas pour expliquer la force, c'est seulement pour faire correspondre à cette idée, transcendente à la Géometrie, un symbole numerique capable de figurer dans les formules ». DUHEM, *L'évolution de la mécanique*, p. 45.

meccanica analitica di LAGRANGE mette in sospetto che non sia riuscito nel suo intento. L'HERTZ parte dal principio metodologico che nelle formule della fisica non si devono introdurre altri elementi che quelli che possono essere appresi direttamente mediante gli organi sensoriali; perciò, mentre ammette, oltre il tempo e lo spazio, la massa e il movimento, non può ammettere la forza, della quale intesa come l'intende la fisica, i sensi esterni non ci danno notizia. Il principio supremo della sua meccanica - combinazione del principio d'inerzia col principio degli spostamenti virtuali e col principio degli spostamenti minimi di GAUSS - consiste nel postulare che le masse « perfettamente libere » si muovono con moto rettilineo e uniforme, e che ogni deviazione è dovuta ai « legami » in cui la massa che si muove si trova con altre masse; le così dette forze fisiche non sarebbero allora niente di reale: sarebbero l'apparente effetto di questi legami. Così l'HERTZ viene a fondere insieme la dinamica e la statica: per il principio degli spostamenti minimi, che enuncia le condizioni d'equilibrio, i legami a cui le masse sono sottoposte determinano in ciascuna uno spostamento che, in confronto con quello che subirebbero se fossero perfettamente libere, è minimo (ed, empiricamente, nullo); se invece si sopprimono tutti i legami, le masse si muovono liberamente com'è indicato dalla legge d'inerzia. Quando i legami e i movimenti non sono visibili, si devono ammettere dei legami nascosti e dei movimenti nascosti. Posti questi postulati, l'HERTZ svolge la sua meccanica in una serie di equazioni differenziali che ricordano quelle della meccanica di LAGRANGE.

Osserviamo che con questa concezione solo apparentemente si è eliminato il concetto di forza. Certo, se si volesse intendere per la forza fisica qualche cosa di simile allo sforzo muscolare, il concetto hertziano di « legame » andrebbe senz'altro preferito: ma da questo punto di vista la meccanica di HERTZ non costituisce un gran progresso sulla meccanica analitica. Rimane per altro sempre vero che il concetto di legame non si deduce dai concetti meccanici, come non lo deduceva dal movimento il LAGRANGE. Il legame, nella meccanica di HERTZ, è un'altra parola per esprimere quello che la meccanica classica chiamava forza; può essere che l'imagine che viene così associata al fatto fisico (il quale rimane sostanzialmente lo stesso) sia più opportunamente scelta perchè rappresentabile sensibilmente con maggiore evidenza, e in tal caso il concetto

di legame andrebbe preferito a quello di forza; ma non ci avvantaggia nulla nella spiegazione del fatto fisico, non amplia la conoscenza delle condizioni del fenomeno, perchè rimane sempre un elemento irriducibile a quelli di materia e movimento.

Sicchè dalle leggi della cinematica, dai concetti di materia e di movimento non si ricava quel rapporto di proporzionalità in cui la massa si trova coll'accelerazione e che è espresso dal concetto di forza. Quando NEWTON diede questo nome a quel rapporto non intendeva introdurre nella fisica una delle qualità occulte della scolastica, quasi che la forza potesse essere assunta come principio di spiegazione dei fenomeni; si trattava soltanto d'indicare con un nome un rapporto esprimibile matematicamente, non ricavabile dai concetti della meccanica, senza poi fingere ipotesi su ciò che gli corrisponde nella realtà oggettiva (1). Se si interpreta in questo senso il concetto di forza, la differenza tra la meccanica classica e la meccanica di HERTZ è più apparente che reale. « Nei due casi, nell'ipotesi delle forze e in quella dei legami, *il fatto della dipendenza* reciproca dei moti delle masse, per ogni conformazione istantanea del sistema, si esprime mediante equazioni differenziali lineari tra le coordinate di queste masse. Si può dunque considerare l'esistenza di quest'ultime equazioni come il *punto essenziale,* come il punto sperimentalmente stabilito. La fisica si abitua d'altronde gradatamente a considerare come il suo vero scopo la descrizione dei fatti mediante equazioni differenziali. La possibilità di un *uso pratico generale* delle espressioni matematiche di HERTZ si trova così stabilita, senza che sia d'altra parte necessario d'avventurarsi nell'interpretazione ulteriore delle forze o dei legami » (2).

Ed ora possiamo concludere. Ciò che vi è di oggettivo, di sperimentalmente assodato, sono questi rapporti costanti tra i

---

(1) NEWTON avverte con molta insistenza il lettore che bisogna considerare « *has vires non Physice sed Mathematice tantum* » (*Philosophiae naturalis principia mathematica*, scolio alla definizione VIII), e nel celebre *scholium generale* con cui chiude l'opera determina nettamente la sua posizione fenomenistica: « *Rationem vero harum Gravitatis proprietatum ex Phaenomenis nondum potui deducere, et hypotheses non fingo. Quicquid enim ex phaenomenis non deducitur, Hypothesis vocanda est; et hypotheses, seu Metaphysicae, seu Physicae, seu Qualitatum occultarum, seu Mechanicae, in Philosophia naturali locum non habent. In hac Philosophia Propositiones deducuntur ex phaenomenis, et redduntur generales per inductionem* ». Si noti che NEWTON pone tra le ipotesi anche le teorie meccaniche.

(2) MACH, *Meccanica* (trad. ital.), p. 265.

fenomeni, esprimibili in termini matematici, e che possono essere indicati col nome di forze o di legami, o, più genericamente, di condizioni determinanti e condizioni restrittive dei cangiamenti. Concretare questi rapporti in forze concepite, nella loro oggettività, in modo analogo ai dati del nostro senso muscolare, o anche ipostatizzarle in fluidi percettibili, sarebbe altrettanto erroneo quanto il dare valore di oggettività ad una qualsiasi qualità sensoriale; il certo è che questi rapporti non possono essere ridotti a fatti meccanici. La fisica non può fare ipotesi su ciò che oltrepassa il mondo dell'esperienza e quindi non può domandarsi che cosa corrisponda oggettivamente alle forze. Il che non vuol dire (e in questo non possiamo seguire il Mach) che tali ipotesi non debbono assolutamente farsi: la fisica può fornire al pensiero delle indicazioni seguendo le quali esso può anche oltrepassare l'esperienza e formulare l'ipotesi metafisica più adeguata, cercando di indicare come debba essere concepita la realtà perchè sia possibile l'esistenza di quei rapporti tra i fenomeni che la fisica ci fa riconoscere.

Ad analoghe conclusioni giungiamo se studiamo la questione che più ha appassionati i fisici d'ogni tempo dopo Newton: la questione delle forze a distanza. Tutti i tentativi fatti per eliminare le azioni a distanza non spiegano più di quel che spieghi la soluzione or ora citata di Hertz, il quale dove non trova il « legame » di una massa con un'altra imagina un « legame nascosto » e dei movimenti nascosti. Newton e i suoi seguaci, tra cui citiamo ancora il Boscovich, ammettevano in fondo che tutte le forze agissero a distanza; la forza di gravità tra le masse visibili, la forza di coesione tra le molecole e la forza di affinità chimica tra gli atomi; i punti materiali, da cui emanano le forze di attrazione e di repulsione, non potevano venire a contatto tra loro (1). Il meccanicismo si rifiutò di ammettere un'azione a distanza, non volendo accettare altra causa di movimento che l'urto. « Io non sono d'accordo - scriveva l'Huygens - col principio supposto da Newton, che cioè tutte le piccole parti che si possono imaginare in due o più corpi differenti, s'attirino o tendano ad avvicinarsi mutuamente. Il che io non potrei ammettere, perchè credo di vedere chiaramente che la causa di una tale attrazione non è spiega-

(1) La ragione, nel Boscovich, è questa: che essendo inestesi, se venissero a contatto si confonderebbero e non darebbero origine all'estensione.

bile mediante alcun principio di meccanica nè per le regole del movimento » (1). Ogni forza fu ridotta dal meccanicismo a *vis impressa,* e si cercò di spiegare la gravitazione universale per mezzo dell'intervento di un mezzo i cui movimenti invisibili sarebbero la causa di quella connessione tra i corpi che Newton chiamò attrazione. La storia della scienza registra parecchi tentativi di eliminare le forze a distanza; ma noi ci fermeremo sui due punti più importanti, accennando appena ai secondarî.

La teoria svolta da Cartesio nei *Principia philosophiae* è forse il più notevole sforzo per dare una spiegazione meccanica della gravitazione universale; ed ha importanza anche storicamente, essendo stata, con qualche modificazione, accolta dall'Huygens e da molti atomisti. Essa si collega con tutta la cosmogenesi cartesiana e in particolare colla spiegazione della proprietà del peso della materia, a cui abbiamo già accennato. Cartesio ammette che il movimento naturale d'ogni corpo sia rettilineo; ma ammette insieme la formazione dei vortici, che hanno per conseguenza lo sminuzzamento della materia in piccole particelle rotonde di varia grandezza. Perciò queste particelle si troveranno animate da due movimenti, l'uno rettilineo e l'altro vorticoso; allora le particelle più piccole, avendo minor capacità di continuare il movimento rettilineo, verranno spostate verso il centro del vortice, e le più grandi verso la periferia, giacchè il movimento vorticoso che si ha alla periferia si avvicina più al movimento rettilineo di quello che si ha al centro. Queste ultime particelle, poi, si accumulano in grosse masse (i pianeti), mentre le particelle più sottili formano al centro una stella (il sole); allora, i pianeti che hanno minor densità e quindi minor forza per continuare il movimento rettilineo, discenderanno, nel vortice, verso il centro, fino a collocarsi in quel punto in cui un ugual volume delle particelle costituenti il centro (materia celeste), che tendono naturalmente ad allontanarsi dal centro, è capace di far loro equilibrio; i pianeti più grandi e più solidi si collocheranno in punti più lontani dal centro perchè hanno bisogno, per stare in equilibrio, di una maggior quantità di materia celeste animata da movimento centrifugo. Così si forma la disposizione del sistema solare. Quelle masse poi che per la loro grandezza non trovassero

(1) Huygens, *De causa gravitatis* (ed. Amsterdam, 1728), p. 159.

equilibrio in nessun punto del vortice sarebbero costrette ad esulare in un altro vortice, e così via fino a trovare riposo: tali sono le comete. La costanza nei rapporti tra i pianeti e il sole è così spiegata per mezzo di un equilibrio tra due movimenti uguali ed opposti, quello centripeto del pianeta e quello centrifugo della materia celeste (1).

Delle varie teorie meccaniche esplicative dell'azione a distanza, questa è forse la più coerente ed esente da intrinseche difficoltà; evita sopratutto le difficoltà di coloro che ammettono la trasmissione di un movimento tra i corpi che si attraggono, e che non possono spiegare come l'azione della gravità sia indipendente dal tempo. Ma la teoria cartesiana introduce considerazioni che non si possono ricavare dai concetti di materia e movimento: infatti Cartesio stesso parla sempre di una *vis centrifuga* della materia celeste e di una *vis centripeta* dei pianeti. Lo stato di equilibrio, in ultima analisi, anche nella concezione cartesiana è determinato dall'incontrarsi di due forze uguali ed opposte. Si aggiunga che non sarà mai possibile dimostrare quella supposta uguaglianza di volume tra un pianeta e la materia celeste che lo separa dal sole; l'ipotesi, oltre all'andare incontro a tutte le difficolià a cui abbiamo accennato circa la formazione e la conservazione dei vortici e la divisione della materia, è del tutto inverificabile; nessun dato sperimentale la suggerisce e nessuno può confermarla.

In tempi più recenti si cercò di spiegare l'azione della gravità per mezzo di un elemento impercettibile riempiente tutti gli spazî cosmici, l'etere; i movimenti di una massa verrebbero trasmessi per via di urto alle vicine particelle dell'etere provocando un'onda che, attraverso tutto l'etere interposto, giungerebbe ad una seconda massa, propagandosi con immensa velocità (molto superiore a quella della luce); e il risultato sarebbe l'attrazione reciproca delle due masse (2).

---

(1) Vedi una larga esposizione storica e critica in Bordas-Demoulin, *Le cartésianisme* (Paris, 1874), pp. 196 sgg.

(2) L'ipotesi dell'etere cosmico per spiegare l'azione a distanza fu di nuovo suggerita dopo che si vide l'importanza che ha per le azioni tra le cariche elettriche il mezzo (dielettrico) che lo separa.

Fu anche tentata una specie di verificazione sperimentale dell'attrazione originata da un mezzo interposto, mediante un'ardita analogia, per opera del fisico norvegese C. A. Bjerknes: ponendo due « sfere pulsanti » (sfere di caucciù messe in comunicazione con un tubo la cui pressione subisce variazioni alter-

Questo mezzo impercettibile fu concepito in tre modi (1): 1° come mezzo ponderabile; il chimico Federico Mohr (1806-1879) scriveva nell' appendice della sua « Storia della terra » queste parole: « *Nonnisi materia ponderabile interposita attractio agere potest* ». L'ipotesi va subito scartata perchè cade in un circolo vizioso: il mezzo che viene imaginato per spiegare l'origine del peso non può essere pesante; bisognerebbe determinare in che consiste la ponderabilità dell' etere. 2° come un mezzo imponderabile discontinuo di struttura molecolare come la materia ponderabile. È un' ipotesi spesso accettata, esposta p. e. dal Secchi nell' opera « L'unità delle forze fisiche »; ma quest' ipotesi non fa che ricacciare indietro il problema senza risolverlo, perchè per quanto si riduca al minimo la distanza tra due molecole di etere, rimane sempre una lacuna, un vuoto che può essere colmato; per cui l'azione esercitata tra due molecole di etere è sempre un' azione a distanza. 3° come un mezzo imponderabile ma continuo. Dopo la teoria cartesiana, questa è la più coerente; è sostenuta p. es. dall'astronomo inglese Giacomo Challis (1803-1882).

Oltre all'obiezione che nè dei movimenti impercettibili delle masse, nè del mezzo imponderabile che li trasmette si può dimostrare l'esistenza, tanto che recentissimamente si è tentato di abbandonare del tutto l'ipotesi dell'etere spiegando ugualmente i fenomeni (specialmente luminosi ed elettromagnetici) per cui sembrava indispensabile, a queste teorie meccaniche della gravitazione possono farsi queste obiezioni: 1° Contraddicono, in fondo, alle leggi dell' urto; perchè o i movimenti che le due masse si comunicano sono uguali, e allora debbono annullarsi durante la trasmissione; o sono disuguali, e allora, essendo maggiore quantitativamente il movimento trasmesso dalla massa maggiore, per le leggi dell' urto dovrebbe aversi un allontanamento della massa più piccola dalla massa più grande; invece

---

native rapidissime, in modo che il volume delle sfere aumenti e diminuisca con immensa frequenza, come in pulsazioni) in una grande vasca d'acqua, in modo che le variazioni di volume di una sfera vengano trasmesse all'altra e viceversa, si nota tra le due sfere un' attrazione che segue la legge newtoniana di proporzionalità diretta alle masse e inversa ai quadrati delle distanze. Si tratta, come si vede, di una semplice e grossolana analogia che non ha alcun valore dimostrativo.

(1) Sono indicati sommariamente dallo Stallo, *Die Begriffe und Theorien der modernen Physik* (trad. tedesca, Leipzig, 1911), pp. 39-54

l'attrazione è direttamente proporzionale alle masse e perciò le masse più grandi attraggono quelle più piccole. 2° Tanto se si concepisce l'etere come continuo, quanto se se ne ammette la discontinuità, bisogna imaginarlo perfettamente elastico; ma l'elasticità non è una proprietà meccanica, non si spiega coi concetti di massa e movimento; quindi per espellere dai corpi la proprietà di agire a distanza, s'introduce nella natura un'altra proprietà altrettanto inesplicabile meccanicamente. 3° La trasmissione di un movimento suppone sempre una certa velocità di propagazione; ma le ricerche che si sono fatte sulla possibilità che l'azione attrattiva impieghi un certo tempo per propagarsi hanno dato in ultimo un risultato negativo, « poichè le velocità di propagazione possibili non concordano tra loro e sono tutte grandissimi multipli della velocità della luce » (1). I calcoli di LAPLACE avevano dato per la gravità una velocità di propagazione otto milioni di volte maggiore di quella della luce; egli stesso poi corresse la cifra in cinquanta milioni; e ricerche successive mostrarono che anche cinquanta milioni sono pochi (2). Bisognerebbe dunque, in ogni caso, ammettere l'esistenza di un altro etere, diverso da quello ammesso per spiegare la luce. Ma si cadrebbe sempre in una difficoltà: il fenomeno dell'aberrazione, che si verifica nella luce e per spiegare il quale fu appunto ammesso l'etere, dovrebbe verificarsi anche per la gravità: e allora il movimento trasmesso da una massa (p. es. il sole) ad un'altra (un pianeta), dovrebbe giungere alla seconda quando già si è spostata un poco, allo stesso modo che l'imagine del sole in un punto del cielo ci apparisce quando il sole si è già spostato. 4° Se l'azione della gravità fosse una forma di movimento, dovrebbe sottostare alle leggi di tutti i movimenti, cioè riflettersi e rifrangersi nel passare da un mezzo più denso in uno meno denso e viceversa; invece l'azione della gravità non si riflette e non si rifrange, non si polarizza, non è alterata dagli ostacoli, si dirige sempre in linea retta; il che pone un abisso tra l'azione della gravità e tutte le altre forme di energia. Anche l'inesauribilità di que-

(1) MACH, *Meccanica* (trad. ital.), p. 189.

(2) V. alcuni calcoli in STALLO, op. cit. pp. 49-50. Vi sarebbe una sola esperienza (di P. GERBER, 1898; citata dal MACH, *Meccanica*, p. 189), fondata sul movimento del perielio di Giove, secondo cui la velocità di propagazione della gravità sarebbe uguale a quella della luce; ma si tratta evidentemente di calcoli erronei.

sta forza richiede che le si dia un posto a parte di fronte alle altre forze della natura.

Possiamo dunque concludere che ogni tentativo di eliminare l'azione a distanza spiegandola con ragioni meccaniche è andato fallito (1). E qui confermiamo le idee espresse discutendo in generale il concetto di forza. Contro una malintesa maniera di concepire antropomorficamente la forza, in forma analoga alla sensazione di sforzo muscolare, aveva già messo in guardia Newton col dichiarare di non fare ipotesi sulla natura profonda della realtà. Quello che vi è di certo è l'esistenza di quel rapporto speciale, esprimibile matematicamente ma irriducibile a rapporti meccanici; quando si parla di « forza di gravità » o di « attrazione », non si deve intendere di svelare la natura del reale, ma solo di dare un nome ad un dato di fatto di cui dovrà poi tener conto la metafisica per formulare, a suo luogo, le ipotesi più convenienti sulla natura della realtà.

Ma, si può domandare, anche ammesso che nella forza di gravità debbasi riconoscere una forma di azione irriducibile alle azioni meccaniche, possiamo almeno ridurre tutte le altre forme di energia all'unico tipo dell'energia cinetica e considerare tutte le differenze qualitative come risultanti dalle differenze quantitative di un'unica forma di energia? È questo il problema che ora dobbiamo discutere.

IV. — Le forme dell'energia.

Uno dei più fecondi principî della meccanica è il principio delle velocità virtuali, ignoto agli antichi e solo implicito nei ragionamenti con cui Stevino e Galileo cercavano di stabilire le condizioni di equilibrio delle macchine. Nel campo della meccanica, da quel principio si può dedurre tutta la statica; ma non meno importanti ne sono le conseguenze filosofiche.

Due forze uguali ed opposte, applicate simultaneamente su di un corpo, non ne alterano lo stato; se le due forze vengono applicate successivamente anzichè simultaneamente, determineranno prima uno spostamento in direzione positiva, poi

(1) Non sarebbe serio il discutere ancora la teoria mitologica del Lesage (1724-1803) che attribuisce la gravità all'azione di « corpuscoli ultramondani ».

uno spostamento in direzione negativa di grandezza uguale al primo, dopo di che il corpo tornerà nello stato primitivo. Diremo dunque che lo stato di un corpo non è alterato se, dopo averlo sottoposto all'azione di una forza, s'inverte il senso di questa e vi si sottopone di nuovo il corpo. L'enunciazione delle condizioni di equilibrio di un sistema meccanico, come quelle in cui la somma dei lavori virtuali di ciascun elemento è uguale a zero, presuppone dunque la possibilità d'invertire il senso delle forze conservandone inalterata l'intensità ed ottenendo quindi dei lavori quantitativamente identici; un sistema che, sottoposto all'azione di una forza, subisce una modificazione, deve potere ripercorrere tutti gli stadî della sua deformazione in senso inverso e tornare allo stato primitivo, purchè s'invertano i parametri del tempo e dello spazio. Così si rende evidente uno dei caratteri principali della meccanica: *essa presuppone la perfetta reversibilità di tutti i fenomeni.*

Questo carattere può esser messo in luce anche sotto un altro aspetto. L'equazione della forza viva ci dice che il lavoro motore necessario per spostare una massa libera e inerte imprimendole una certa accelerazione, è uguale al lavoro compiuto da quella stessa massa posta così in movimento; sicchè l'intera quantità di lavoro consumata per spostare la massa ci è restituita dalla massa in movimento, *senza che nulla vada perduto.* Questo principio della conservazione del lavoro si può ricavare in fondo dai presupposti generali del meccanicismo, dai due principî dell'indistruttibilità del movimento e dell'indistruttibilità della massa. Infatti, ammesso col meccanicismo che ogni causa di movimento è movimento e che d'altra parte ogni lavoro consiste nel muovere una massa, si vede che l'equazione tra il lavoro consumato per spostare una massa libera ed inerte (Fs) e il lavoro compiuto dalla medesima massa $\left(\frac{m\ v^2}{2}\right)$ è un'equazione tra due movimenti, presupposta s'intende la permanenza della massa.

Ma in molti casi l'esperienza ci dice che il lavoro consumato per spostare una massa non ci è subito restituito, come p. es. quando trasportiamo e depositiamo ad una certa altezza un macigno; ma ciò non vuol dire che il lavoro che è stato speso vada perduto, giacchè quella massa, per la sua *posizione,* possiede la capacità di compiere un lavoro equivalente a quello consumato, purchè sia posta nelle condizioni opportune. Con-

sideriamo allora un sistema materiale sottratto a qualunque azione di forze esterne, ma tra i cui elementi si esercitino delle « forze interne » dipendenti dalla posizione relativa degli elementi. Col variare di queste posizioni, varieranno anche le forze interne, ma, non essendoci scambio d'azione coll'esterno, la loro somma rimarrà invariata: ad ogni aumento e ad ogni diminuzione del lavoro potenziale corrisponderanno una diminuzione ed un aumento della forza viva. Un tale sistema, in cui l'intensità delle forze dipende unicamente dalla sua configurazione, viene chiamato *sistema conservativo;* ed è evidente che quando un sistema conservativo, dopo aver subìta una serie di trasformazioni, riacquista la configurazione primitiva, deve possedere la stessa forza viva, qualunque sia la serie dei cangiamenti a cui è stato sottomesso.

Il presupposto tacito od esplicito della fisica moderna è che l'universo nel suo insieme sia un sistema conservativo, una totalità di elementi tra i quali si esercitano azioni reciproche senza che nulla sia perduto e nulla creato, poichè nessuno scambio d'azione può esserci coll'esterno quando si concepisce l'universo come un tutto completo in sè stesso. Nel meccanicismo genuino, quale si ha nella fisica cartesiana, ogni cangiamento, ridotto al movimento relativo delle masse, consiste in una variazione nella configurazione del sistema, e la causa d'ogni movimento è altro movimento; in tale sistema la quantità che si conserva costante è la « quantità di movimento ». Quando il movimento di una massa si trasmette ad una pluralità di masse, il movimento della prima *si suddivide* e ciascuna di queste altre masse subisce, nella propria quantità di movimento, una diminuzione proporzionale al numero delle masse a cui il movimento della prima si è trasmesso; quindi il prodotto della massa per la velocità, cioè la quantità di movimento, è costante (1). Le difficoltà a cui andava incontro questa teoria, che si trovava contraddetta dall'esperienza ogni volta che si osservava un arresto di movimento, condussero ad approfondire il concetto di « causa di movimento » e a riconoscere che ciò che si conserva non è la quantità di movimento, ma la quantità di forza o di energia. La polemica di Leibniz

(1) « ..... *ita scilicet ut putemus, cum una pars materiae duplo celerius movetur quam altera et haec altera duplo maior est quam prior, tantundem motus esse in minore quam in maiore, ac quanto motus unius partis lentior sit, tantum motus alicuius altesui ripsi aequalis fieri celeriorem* ». Cartesio, *Principia philosophiae*, p. II, articolo 36.

contro i cartesiani s'impernia su questo punto (1); e di qui acquista la sua importanza, poichè sarebbe ingiusto il vedere in questa polemica soltanto una questione di misure, le quali per di più oggi si sono dimostrate ambedue esatte da punti di vista diversi. Il concetto leibniziano, coll'introdurre la nozione di forza, era molto più fecondo di quello cartesiano; e la prima conseguenza era che permetteva di tener conto della causa del movimento anche quando non ha ancora prodotto nessun effetto, mentre nella fisica cartesiana la causa del movimento non poteva essere che un movimento attuale. Col concetto leibniziano si poteva tener conto della *posizione* di un elemento nel sistema materiale, in quanto la posizione rappresenta per quell'elemento la capacità, la « potenzialità » di compiere un movimento, che si attua poi quando si rompe l'equilibrio del sistema. Una forza non cessa di esistere pel solo fatto che, in certe condizioni, non può esplicarsi: ecco il solo modo di ristabilire nei cangiamenti quella continuità, che veniva spezzata nella fisica cartesiana ad ogni arresto di movimento. Nacque così la distinzione delle due forme di forza, a cui Leibniz diede rispettivamente il nome di « forza viva », che è la forza che agisce attualmente, che si esplica collo spostare la massa a cui è applicata, e che è misurata dal lavoro; e di « forza morta », che è la forza non ancora attuata ma capace di effettuarsi e di dar luogo ad un lavoro appena la massa a cui è applicata si trovi nelle opportune condizioni Le due forme di forza possono essere misurate, hanno un aspetto quantitativo; ora, dal punto di vista quantitativo le due forme di forza stanno tra loro in questo rapporto: che ad ogni aumento dell'una corrisponde un'equivalente diminuzione dell'altra e viceversa; sicchè la somma delle due forze è costante; e in un sistema conservativo, come l'universo materiale, la quantità delle forze o agenti attualmente o potenziali si conserva costante. Così venne formandosi il « principio della conservazione della forza », che col tempo, sostituitesi alle espressioni poco felici di forza viva e forza morta (che richiamano inopportunamente i fenomeni biologici) quelle di energia cinetica o di movimento ed energia potenziale o di posizione, divenne il fondamentale « principio della conservazione dell'energia ».

---

(1) Vedi di Leibniz la celebre *Brevis demonstratio erroris memorabilis Cartesii et aliorum circa legem naturae, secundum quam volent a Deo eandem semper quantitatem motus conservari; qua et in re mechanica abutuntur* (negli « Acta eruditorum » del 1686, p. 161).

Quando si parla del principio della conservazione dell'energia di solito si corre col pensiero a GIULIO ROBERTO MAYER, al JOULE, all'HELMHOLTZ, che nei tempi più recenti hanno fatto di questo principio la base della scienza fisica. Ma se il MAYER ha il gran merito di avere enunciato chiaramente il principio e di averne fornite alcune prove sperimentali, se il JOULE ha trovato il mezzo di misurare gli equivalenti delle varie forme di energia, se l'HELMHOLTZ ha sviluppato criticamente il principio e lo ha esteso a tutti i fenomeni fisici, il principio era stato enunciato da molto tempo, sia pure sotto altre forme; noi crediamo che il progresso sia consistito soltanto nel dare una formulazione più esatta e più adeguata ad un principio già implicito in tutta la scienza moderna, come rispondente ad una profonda esigenza della mente umana. È questa l'esigenza di cogliere, attraverso tutti i cangiamenti, le cause invarianti dei fenomeni; donde lo scopo supremo della sistemazione scientifica dei fatti naturali: « Das endliche Ziel der theoretischen Naturwissenschaften ist also, die letzten unveränderlichen Ursachen der Vorgänge in der Natur aufzufinden » (1). Il principio della conservazione dell'energia esprime il fatto che la risoluzione dei fenomeni deve arrestarsi ad elementi quantitativamente costanti; esista o non esista nel mondo una spontaneità, una creazione *ex nihilo,* il certo è che noi non possiamo rendere intelligibili i fenomeni, non possiamo assimilare la natura al nostro pensiero se non presupponendo l'esistenza di un'invariante universale, di una quantità che si conservi attraverso i cangiamenti qualitativi. Questo risulta chiaro se si pensa che tutta la scienza moderna, da GALILEO in poi, ammette che « il libro dell'universo sia scritto in termini matematici »; la descrizione dei fenomeni è compiuta quando si sono impostate delle equazioni che li simboleggiano, e il decorso dei fenomeni è rappresentato dallo sviluppo delle equazioni; già abbiamo detto che la matematica perderebbe ogni significato se durante lo sviluppo di un'equazione s'introducessero nelle formule quantità nuove o scomparissero da uno dei due membri alcuni dei termini inizialmente posti. Per questa ragione, a prescindere dagli antichi che possono averla intuita più o meno adeguatamente, in tutti gli scienziati moderni si ri-

---

(1) HELMHOLTZ, *Ueber die Erhaltung der Kraft* (in Wissens. Abhandl., I. pag. 13).

vela quest'esigenza e si manifesta in tutti i principî fondamentali che furono assunti come base delle teorie fisiche; il principio d'inerzia, in quanto esclude una spontaneità nella materia, una attività creatrice uscente dal nulla, una forza il cui sorgere non segua alla scomparsa di una forza equivalente, è la prima espressione di quell'esigenza; poi, il principio della conservazione del movimento nella fisica cartesiana, il principio della conservazione della forza viva nella metafisica leibniziana, il principio dell'uguaglianza dell'azione e della reazione di NEWTON, il principio di D'ALEMBERT, il principio delle velocità virtuali di LAGRANGE e quello, che vi è implicito, della conservazione del lavoro, il principio del minimo sforzo di GAUSS e di HERTZ, il principio della minima azione di HAMILTON, sono forme diverse di esprimere un unico postulato, che possiamo chiamare in genere « principio di conservazione » e che ha raggiunto il massimo grado di esattezza nel principio della conservazione dell'energia. Una delle migliori formulazioni di questo principio, sotto il nome di « principio d'equivalenza », ha dato recentemente il PERRIN: « se per mezzo del cangiamento C si ottiene un cangiamento K, è impossibile, per mezzo dello stesso cangiamento C, ottenere un cangiamento $K + K'$ » (1).

Era necessario premettere queste osservazioni per stabilire il significato del principio della conservazione dell'energia e il valore che può avere per la soluzione del problema che ci interessa. La maniera più generale di esprimerlo è in ultimo questa: vi è qualche cosa che si conserva; ogni cangiamento qualitativo si verifica lasciando invariate le condizioni quantitative. Questo qualche cosa che si conserva, tuttavia, non va considerato come una sostanza, una realtà, la cui esistenza non potrebbe in ogni caso essere affermata se non nel momento in cui si trasforma (come la forza non si manifesta se non quando l'equilibrio è rotto), giacchè vi sono, come vedremo, dei casi in cui la trasformazione dell'energia è impossibile; e neppure si può dire che si conserva la « possibilità di cangiamento », giacchè, per la stessa ragione, vi sono dei casi in cui ogni possibilità di cangiamento è tolta. Quello che permane costante è semplicemente un *rapporto*, una quantità. Così inteso, il principio della conservazione dell'energia non è un dato dell'espe-

(1) PERRIN, *Traité de chimie-physique*, pp. 91-92. - Cfr. REY, *Les idées directrices de la physique mécaniste* (*XVII-XIX siècle*), in « Revue philosophique », t. 73, pp. 337-366 e 493-513; 1912.

rienza, perchè l'esperienza, anche se lo suggerisse, non potrebbe giustificarne l'applicazione universale; non è una verità conoscibile *a priori*, tanto è vero che non è stato sempre riconosciuto e da alcuni è stato negato, e non ha una intrinseca necessità; è un principio metodico, necessario all'intelligibilità della natura esterna per parte della nostra mente. Solo quando siamo riusciti a cogliere nei fenomeni dei rapporti quantitativi costanti, possiamo dire di aver colto il lato intelligibile della realtà.

Dunque il principio della conservazione dell'energia rispecchia l'aspetto quantitativo della realtà; ma non tutto è quantità nella natura. Ora, mentre per l'aspetto quantitativo noi dobbiamo considerare il mondo esterno come un sistema conservativo, per l'aspetto qualitativo, la cui importanza non è davvero trascurabile, la natura ci si presenta come un continuo divenire, e non solo come un distribuirsi in vario modo di elementi che permangono, ma come un cangiamento reale, una *γένεσις καὶ φθορά*, come diceva ARISTOTELE. Sicchè il problema che si pone è questo: è spiegata l'origine del cangiamento qualitativo quando si è detto che in tutti i cangiamenti qualitativi vi è una quantità che rimane costante? Enunciato il problema in questi termini, la risposta non può essere che negativa; se ogni cangiamento nella qualità è accompagnato da una costanza dei rapporti quantitativi, non si è detto il perchè del mutamento della qualità; il principio della conservazione dell'energia è del tutto insufficiente a spiegare l'origine delle differenze qualitative. Ad un solo patto potrebbe ridursi il cangiamento qualitativo ad un cangiamento nella distribuzione di quantità che si conservano costanti nella loro somma: al patto cioè che dalla conservazione dell'energia fosse lecito trarre la conseguenza che tutte le forme di energia sono qualitativamente identiche. Il meccanicismo ha appunto compiuto questo passaggio: pur dovendo ammettere che l'energia può trovarsi allo stato potenziale (e rinunziando così al concetto cartesiano che ogni causa di movimento è movimento attuale), ha affermato che ogni cangiamento è movimento e che quindi ogni energia è energia cinetica; anche l'energia potenziale è di natura cinetica, perchè la sua attuazione è sempre un lavoro meccanico. Ora appunto dobbiamo domandarci: è legittimo trarre dal principio della conservazione dell'energia la conseguenza dell'identità qualitativa di tutte le forme di ener-

gia, della natura cinetica di ogni energia potenziale? Dal punto di vista logico non è conseguenza legittima, giacchè per l'esattezza del principio della conservazione dell'energia è sufficiente ammettere che le varie forme di energia siano misurabili e che ad una data quantità dell'una corrisponda invariabilmente una data quantità dell'altra. La misura dell'energia può farsi misurando il cangiamento a cui dà luogo: e il metodo più comodo per questa misura, è, come abbiamo detto altrove, quello di far corrispondere a ciascun processo fisico un mutamento nello spazio e nel tempo (senza per questo credere di poter ridurre l'uno all'altro); ma che tutti i cangiamenti siano suscettibili di misura non vuol dire che siano tutti cangiamenti di una stessa specie; perciò la possibilità di considerare le energie come quantità, di sommarle e sottrarle, non implica affatto la loro identità qualitativa. Così, p. es., la possibilità di considerare il calore come una quantità è indipendente dalle ipotesi sulla sua natura meccanica; basta infatti riferirsi agli effetti del calore, come la dilatazione dei corpi, per avere il mezzo di comparare e quindi di misurare diverse quantità di calore. Si ricordi che lo sviluppo della calorimetria e l'introduzione del nome stesso di « caloria » sono dovuti al Black, che, anteriore di cinquant'anni alla teoria meccanica del calore, si atteneva ancora alla teoria del fluido calorico! (1).

Fatte così le osservazioni generali, addentriamoci nello studio critico delle diverse teorie fisiche enunciate allo scopo di ridurre le varie forme di energia all'energia meccanica. E per prima affrontiamo la celebre « teoria meccanica del calore », una delle più grandiose costruzioni scientifiche del secolo XIX, esponendone con una certa larghezza - necessaria anche se ci costringerà a ripetere nozioni conosciute da molti - i fondamenti teorici e sperimentali, e discutendo in seguito la sua coerenza intima e il suo valore esplicativo.

Quando un sistema materiale è messo in condizioni di subire una o più deformazioni (cambiamento di stato fisico, di volume, di temperatura, di pressione, ecc.), si osserva: 1° che è necessario fornire al sistema una certa quantità di calore che viene assorbita; 2° che la trasformazione del sistema dà luogo ad un lavoro esterno; 3° che, alla fine della trasformazione,

(1) V. Mach, *Principien der Wärmelehre*, pp. 162 sgg.

l'energia totale del sistema ha subìta una variazione. Indicando con Q la quantità di calore somministrata, con JE il lavoro esterno prodotto, con ΔU l'aumento dell'energia totale del sistema, si deve avere l'uguaglianza: $Q = JE + \Delta U$. Ciascuna di queste quantità, s'intende, può essere presa con segno negativo: allora il calore invece che essere fornito al sistema viene sviluppato da esso; il lavoro invece di essere prodotto dal sistema, è compiuto su di esso per ottenere lo sviluppo di calore; e l'energia totale del sistema finisce col subire una diminuzione. Dunque l'uguaglianza rimane inalterata se si cambia il segno a tutti i termini.

Ciò posto, possiamo supporre che un sistema materiale subisca una serie di trasformazioni alla fine delle quali sia ricondotto al suo stato iniziale (ciò che, per i principî della meccanica che abbiamo esposti, dev'essere possibile; v. retro p. 95): che percorra, cioè, un « ciclo di trasformazioni ». Alla fine del ciclo, la quantità di calore assorbita o sviluppata dal sistema sarà uguale al lavoro esterno prodotto dal sistema od effettuato su di esso; si dovrà cioè avere: $Q = JE$ (in valore assoluto). Nell'equazione sopra riferita, in tal caso, ΔU dovrà prendere il valore zero, perchè l'energia totale del sistema conservativo non ha subìte variazioni; quindi si ha:

$$U = \text{costante},$$

formula del principio della conservazione dell'energia (primo principio della termodinamica). Intanto, la formula $Q = JE$ ci dice che l'unità di lavoro E, per poter essere uguagliata all'unità di calore Q, deve essere moltiplicata per un fattore di proporzionalità J indipendente dalla natura del sistema; a questo fattore spetta il nome di « equivalente meccanico del calore ». La scoperta dell'equivalente meccanico del calore è d'immensa importanza nella storia della scienza, ed è stata la base su cui si è poggiata la moderna teoria meccanica del calore. Vedremo, nella critica, se questa assunzione sia giusta; certo per altro, dal punto di vista storico, il principio della conservazione dell'energia sembrò confortare l'ipotesi che considerava tutte le forme di energia come riducibili ad un unico tipo, all'energia cinetica. Alle deduzioni teoriche seguirono le molteplici ricerche sperimentali di Joule, Hirn ed altri, il cui risultato fu la fissazione dell'equivalente meccanico del calore in circa 427 Kgm.

È bene notare ora che i processi fin qui considerati sono perfettamente reversibili: siamo infatti partiti dal concetto di un sistema materiale conservativo quale è definito dalla meccanica. Ma i processi reversibili rappresentano evidentemente un caso-limite dei processi che si osservano nell'esperienza; passando al limite, possiamo considerare come processi reversibili i processi estremamente lenti, nei quali cioè le variazioni di pressione, di volume, di temperatura, ecc., sono così piccole rispetto alle variazioni delle energie meccanica e termica, da poter essere trascurate senza danno per il risultato finale; questi processi estremamente lenti si possono definire come una successione di tanti stati di equilibrio, salve piccolissime deviazioni;basta dunque (cfr. quanto abbiamo detto sul principio delle velocità virtuali, pag. 93-94) cambiare il segno di tutte queste deviazioni minime perchè l'intero ciclo di trasformazioni si compia in senso inverso. Nelle condizioni di assoluto equilibrio due sostanze unite sì da formare un unico sistema termodinamico avrebbero identica temperatura, onde non ci sarebbe scambio di calore; la pressione esterna uguaglierebbe la tensione delle sostanze, quindi non ci sarebbero variazioni di volume, e nessun attrito potrebbe aver luogo. Come approssimazione al caso-limite, allora, diremo che quando un corpo scambia calore soltanto con corpi la cui temperatura è « vicinissima » alla sua, quando la pressione esterna è « quasi uguale » alla tensione delle sostanze, quando infine non si perde « quasi punto » calore per vincere attriti e resistenze, la serie delle trasformazioni a cui il sistema può essere sottoposto costituisce un ciclo chiuso, è cioè un processo reversibile. È questo ciclo ideale, perfettamente reversibile, caso-limite dei cicli sperimentabili, che dal nome di Sadi Carnot, che ne studiò pel primo (1824) le leggi, ebbe il nome di « ciclo di Carnot ». - Una macchina termica, cioè una macchina capace di assorbire una quantità di calore Q da una sorgente di calore, di restituirne una quantità più piccola q ad un refrigerante, e di trasformare la differenza in lavoro meccanico, una macchina, in altri termini, capace di utilizzare la quantità di calore Q-q, renderà il massimo di calore, cioè utilizzerà l'intera quantità di calore Q-q, quando sarà una macchina capace di subire un ciclo chiuso di trasformazioni; essa infatti non disperderà punto calore nella serie di trasformazioni a cui andrà soggetta. Di qui risulta: 1° che la condizione necessaria perchè vi sia scambio di calore tra i due

corpi costituenti la macchina termica (la sorgente e il refrigerante) è che vi sia tra essi una differenza di temperatura, perchè se non vi fosse differenza di temperatura vi sarebbe equilibrio; 2° che trattandosi per ipotesi di una macchina a ciclo reversibile ed essendo quindi escluso ogni disperdimento di calore, il rendimento dell'intera quantità Q-q dipende *soltanto* dalle due temperature, che chiameremo Θ e ϑ, della sorgente e refrigerante. Ciò posto, possiamo enunciare sotto questa forma il *principio di Carnot* (secondo principio della termodinamica): « Il rapporto tra la quantità di calore utilizzabile Q-q e la quantità di calore totale messa in azione Q non dipende dalla natura delle sostanze e della macchina, ma soltanto dalle due temperature Θ e ϑ della sorgente e del refrigerante » (1).

Una prima conseguenza di tale principio è che esso viene a dare alla temperatura un'importanza affatto speciale; stabilisce infatti che vi è una relazione necessaria e costante tra la quantità di calore e la temperatura; sicchè permette di porre l'uguaglianza: $\frac{Q-q}{Q} = \frac{\Theta - \vartheta}{\Theta}$. Questa relazione ha reso possibile la determinazione della « scala assoluta delle temperature »: infatti mentre ogni scala di temperature è relativa alla sostanza che si adotta per la misura (l'idrogeno, il mercurio ecc.), il principio di Carnot mette da parte la natura delle sostanze e tien conto soltanto della correlazione del grado di temperatura colla quantità di calore. Ricerche sperimentali hanno poi condotto a porre lo « zero assoluto » a 273 gradi al di sotto del punto di fusione del ghiaccio.

Tra il secondo principio della termodinamica, nella forma in cui qui lo abbiamo enunciato, e i fenomeni a cui si estende da un lato, e i processi meccanici dall'altro, vi sono molte analogie. Anzitutto, abbiamo insistito nel notare che i processi di cui si tien conto nel principio di Carnot sono processi completamente reversibili; e noi abbiamo notato a suo luogo come la reversibilità sia un presupposto generale della meccanica. Possiamo aggiungere che la reversibilità significa in ultima analisi l'indipendenza dei processi dal tempo (giacchè la serie

(1) V. Mach, *Principien der Wärmelehre*, pp. 216-220. Il Mach dà una formula semplice del principio di Carnot:

$$W = f\ (Q,\ t_1,\ t_2),$$

che indica che il lavoro W è funzione soltanto della quantità di calore Q e delle due temperature t_1 e t_2.

temporale è la serie irreversibile per eccellenza): ebbene, per giungere al principio di CARNOT abbiamo dovuto, con un procedimento evidentemente artificioso, supporre che i processi termici siano estremamente lenti; il caso-limite di questi processi si sarebbe avuto quando essi si fossero svolti (se fosse stato possibile) fuori del tempo. In secondo luogo abbiamo notato come uno scambio di calore, presupposto necessario al funzionamento di una macchina termica, richieda una differenza di temperatura tra i corpi tra cui avviene lo scambio; analogamente, in meccanica, un lavoro è possibile a condizione che vi sia una differenza di potenziale. Non solo; ma come in meccanica lo scambio di energia tra due masse aventi differente potenziale avviene spontaneamente soltanto in un senso - la massa che possiede una energia potenziale superiore cede una parte della sua energia all'altra - mentre la scambio in senso inverso richiede il consumo d'un certo lavoro, così tra due corpi aventi temperatura differente lo scambio avviene spontaneamente soltanto in un senso, cioè dal corpo avente temperatura più alta al corpo avente temperatura più bassa, mentre il processo inverso richiede la spesa di un certo lavoro. Se facciamo un parallelo tra le macchine termiche e le macchine idrauliche, l'analogia apparirà anche più forte (1). L'acqua contenuta in un serbatoio all'altezza h cade spontaneamente in un serbatoio ad altezza minore h', mentre il trasporto dell'acqua da h' ad h richiederebbe il consumo di un certo lavoro; e il rendimento massimo di lavoro fornito dall'acqua in questa caduta dipende dall'altezza del punto di partenza e dal disdivello $h - h'$ che l'acqua deve superare; così la formula che esprime il rendimento massimo della macchina idraulica è: $\frac{h - h'}{h}$, analoga a quella delle temperature nel principio di CARNOT: $\frac{\Theta - \vartheta}{\Theta}$. Infine un'ultima analogia è stata trovata: una massa che agisce sopra un'altra, per contatto o per urto, le comunica una velocità inferiore, o tutt'al più uguale alla sua, come un corpo avente temperatura più alta di un altro può comunicare a questo una temperatura inferiore, mai superiore alla sua.

Tutte queste analogie tra fenomeni termici e fenomeni meccanici condussero gli scienziati alla convinzione che il

---

(1) LE VERRIER, *Sur la genèse et la portée des principes de la thermodynamique* (Bibliothèque du Congrès de Philosophie, Paris, 1900, III, pp. 504-505).

calore sia una forma speciale assunta dall'energia cinetica. Ma s'imponeva di determinare in che consistessero i movimenti di cui le sensazioni termiche sono la manifestazione soggettiva. Fu allora per varie ragioni (1) supposto che la temperatura di un corpo sia proporzionale al quadrato della velocità media delle particelle ultime dei corpi. Un corpo di massa m alla temperatura Θ possiede la forza viva molecolare media $\frac{m v^2}{2}$; condotto alla temperatura più bassa ϑ, avrà la forza viva molecolare media $\frac{m v'^2}{2}$ dove v' è minore di v: e le quantità di calore Q e q saranno anch'esse proporzionali alle forze vive molecolari, essendo proporzionali alle temperature. Si avrà dunque la proporzione:

$$\frac{Q}{q} = \frac{\Theta}{\vartheta} = \frac{\frac{m v^2}{2}}{\frac{m v'^2}{2}}$$

Due corpi avranno uguale temperatura quando le loro molecole possederanno uguale forza viva. E la temperatura infima, lo zero assoluto della scala termodinamica, corrisponderà all'as-

(1) Accenniamo sommariamente alle principali di queste ragioni. « La luce emessa dai corpi incandescenti si compone di raggi di calore differenti che si possono isolare mediante rifrazione attraverso un prisma; studiando lo spettro così ottenuto, si dimostra che i raggi rossi e violetti che ne occupano le due estremità corrispondono a delle vibrazioni di velocità differente: la velocità delle vibrazioni rosse è circa 2/3 di quella delle vibrazioni violette. Ora i raggi rossi incominciano ad essere visibili quando i corpi da cui emanano sono riscaldati tra 400° e 500°, mentre una temperatura di 1500° circa è necessaria affinchè appariscano raggi violetti. Aggiungendo a queste cifre 273, si trova a presso poco $\frac{800}{1800} = \frac{4}{9}$, che è il quadrato del rapporto 2/3 della velocità » (Le Verrier, art. cit., pp. 513-14). - Nel caso sopra citato delle macchine idrauliche, le altezze sono proporzionali ai quadrati delle velocitá che l'acqua acquista nel cadere. - La legge di Boyle, stabilita sperimentalmente, afferma che in un gaz il prodotto del volume per la pressione è costante quando si mantenga costante la temperatura; cioè ogni variazione nel valore di questo prodotto è determinata dalle variazioni di temperatura, dallo scambio di energia coll'esterno. Ora, nella teoria cinetica dei gaz si dimostra che il prodotto del volume per la pressione è proporzionale alla forza viva molecolare e non dipende che da essa. Ponendo insieme i dati sperimentali contenuti nella legge di Boyle e i risultati teorici della teoria cinetica dei gaz (sul cui valore dovremo discutere più oltre), si conclude che, almeno nei gaz - e per estensione anche negli altri corpi, concepiti sulla falsariga dei gaz - la temperatura assoluta è proporzionale alla forza viva molecolare media. Si noterà come in tutti questi argomenti entri sempre qualche cosa d'ipotetico e come la concezione meccanica, presupposta come un dogma indiscutibile, sia la guida di tali interpretazioni.

senza di forza viva molecolare, alla quiete relativa delle molecole. Con questo supposto ci è dunque offerto il mezzo di misurare le variazioni di temperatura riferendosi alle velocità molecolari; e poichè pel meccanicismo i movimenti molecolari rappresentano un fatto oggettivo, reale, mentre il calore è un fenomeno sensoriale, si conclude finalmente che l'origine della qualità del calore è il movimento molecolare, e che le differenze di temperatura (che possono non solo essere sentite sensorialmente, ma anche constatate nei loro effetti, come nella dilatazione) sono originate dalle differenze della velocità di traslazione delle molecole.

Così la teoria meccanica del calore rinnovava le antiche concezioni di Galileo, di Cartesio, di Gassendi, i quali all'inizio della scienza moderna e della concezione meccanica avevano detto che il calore è un movimento. Ma se gli antichi fisici si potevano contentare di dire in generale che il calore è una specie di movimento, i fisici moderni avevano l'obbligo di spiegare in concreto come e perchè il movimento molecolare fosse il substrato oggettivo dell'energia termica. Tre sono i tentativi più notevoli che furono fatti per dedurre i fenomeni termici da fatti meccanici: la deduzione delle leggi della termodinamica dalla teoria cinetica dei gaz, tentata da Boltzmann e Clausius; l'analogia stabilita tra le leggi del calore e le leggi della meccanica dei sistemi monociclici, per opera di Helmholtz; e la teoria di Willard Gibbs. Passiamole prima in rassegna, per vedere le obiezioni particolari che si possono rivolgere a ciascuna, per aggiungere poi alcune considerazioni generali sul valore di queste spiegazioni meccaniche.

1.° La prima ipotesi si fonda da un lato sul fatto che, nei gaz perfetti, il prodotto della pressione per il volume è costante in condizioni termiche uguali (legge di Boyle) e quindi proporzionale alla temperatura del gaz; dall'altra sul presupposto teorico della dottrina cinetica, cioè che il prodotto della pressione pel volume sia proporzionale alla forza viva molecolare e non dipenda che da essa; donde si ricava la proporzionalità tra forza viva molecolare e temperatura (in gradi assoluti). Ma fin qui non è dimostrato che il calore sia un movimento molecolare; ora, per poter fare questa dimostrazione, Boltzmann e Clausius furono costretti a sviluppare la loro ipotesi in modo da toglierle ogni scopo. Infatti non poterono conservare al movimento molecolare quell'indeterminatezza che sarebbe sufficiente

per chi si limitasse ad osservare una semplice corrispondenza tra l'accrescimento della forza viva molecolare e l'aumento del calore sviluppato durante un processo fisico; furono costretti ad ammettere che ogni molecola sia animata da un movimento rotatorio, cioè abbia una traiettoria chiusa o quasi chiusa, che tutte le molecole debbano compiere il percorso della loro orbita nello stesso tempo, che infine (ciò che segue da quelle premesse) le forze agenti su ciascuna molecola siano forze centrali, dipendenti cioè dalla posizione delle molecole intorno ad un centro immobile. L'introduzione di queste prescrizioni veniva già ad alterare la semplicità meccanica della spiegazione; un sistema così fatto richiedeva a sua volta di essere spiegato. Ma, quel che è più, la conseguenza era che i corpi in cui le molecole sottostanno a tutte queste limitazioni dei loro movimenti sono i liquidi e i solidi; sicchè venivano esclusi proprio quei gaz perfetti *pei quali soli* è valida la legge di Boyle e la proporzionalità tra la quantità del calore sviluppato e l'aumento della forza viva molecolare; solo nei gaz perfetti infatti i movimenti molecolari sono indeterminati (1). Così la spiegazione falliva al suo scopo.

2.° Helmholtz, studiando le leggi della meccanica dei sistemi monociclici, volle mettere in rilievo le *analogie* esistenti tra queste leggi e le leggi dei fenomeni termici, per concluderne che le molecole di un corpo possono rappresentare sistemi monociclici i cui movimenti sono l'origine del calore. Per « sistemi monociclici » l'Helmholtz intende quei sistemi meccanici nel cui interno si attuano uno o più movimenti così detti « stazionarî », tali cioè che non producono apparente spostamento di posizione: così i movimenti rotatorî, nei quali tutte le particelle del sistema ripassano continuamente per gli stessi punti. Se i movimenti a cui il sistema è soggetto sono molti, si ammette che dipendano da un unico parametro; e perciò i sistemi così fatti (sistemi, s'intende, conservativi) sono detti monociclici (2). Come esempî, l'Helmholtz reca il movimento stazionario di una trottola rotante rapidissimamente e

(1) Duhem, *L'évolution de la mécanique*, pp. 113-114.

(2) « Ich verstehe unter *monocyklischen Systeme* solche mechanische Systeme, in deren Inneren eine oder mehere stationäre, in sich zurücklaufende Bewegungen vorkommen, die aber, wenn es mehere sind, in ihrer Geschwindigkeit nur von einem Parameter abhängen ». Helmholtz, *Studien zur Statik monocyklischer Systeme* (in Wissensch. Abhandl., III, p. 119).

la corrente di un fluido moventesi senza attrito in un canale anulare (notisi intanto l'analogia colle teorie idrodinamiche di HELMHOLTZ su cui si fondano le ipotesi di THOMSON sulla costituzione della materia; cfr. p. 73). Quando una causa esteriore provoca uno spostamento nella posizione e nell'inclinazione dell'asse del sistema monociclico, l'effetto che ne risulta, cioè il lavoro effettuato dall'azione esterna, è diverso da quello che si avrebbe se la medesima causa agisse sopra un sistema non mosso da movimento rotatorio; il movimento del sistema monociclico oppone una certa resistenza alla forza che tende a spostarlo; dunque il lavoro ottenuto è solo una parte del lavoro che si otterrebbe se il sistema non fosse in movimento: l'altra parte ha per effetto di modificare la forza viva del sistema. La prima parte corrisponde al lavoro esterno, la seconda al calore assorbito; il risultato finale è un aumento della forza viva, corrispondente ad un aumento di temperatura del sistema. L'analisi di HELMHOLTZ si addentra in molti particolari che noi non possiamo neppure accennare. Ma anche qui si può osservare che nulla dimostra che le molecole dei corpi siano sistemi monociclici, e per ammetter questo bisogna ammettere l'esistenza di forze che abbiano appunto lo scopo di mantenere i movimenti del sistema nelle condizioni volute. E poi la critica della sua teoria meccanica del calore fu fatta dall'autore stesso, il quale nel primo dei bellissimi studî sulla statica dei sistemi monociclici avvertiva che, a rigore, gli atomi non possono essere considerati come sistemi monociclici, perchè i movimenti a cui si può supporre che siano assoggettati sono svariatissimi e solo approssimativamente e in media si possono avvicinare ai sistemi monociclici (1). Infine, l'HELMHOLTZ stesso, che era convinto del limitato potere che la scienza ha di rivelarci la natura del reale, dichiara di non aver preteso di «spiegare» la natura oggettiva del calore, ma solo di offrirne un'illustrazione meccanica, il cui significato può essere solo di aver messo in luce qualche analogia nel comportamento di fenomeni fisici differenti (2).

---

(1) «Zwar ist die Wärmebewegung nicht im strengen Sinne monocyklisch. Jedes einzelne Atom wechselt wahrscheinlich fortdauernd in der Art seiner Bewegung, und erst dadurch, dass in einer ungeheuer grossen Anzahl von Atomen stets alle möglichen Stadien der Bewegung repräsentirt sind, wenn auch jedes eizelne Stadium bald von diesem bald von jenem Atome ausgeführt wird, tritt der mechanische Charakter einer monocyklischen Bewegung ein». HELMHOLTZ, loc. cit., p. 120.

(2) HELMHOLTZ, *Studi n zur Statik monocyklischer Systeme* (Zw. Fortsetzung, Kritisches) (in Wiss. Abh., III, p. 176); e DUHEM, *L'évolution de la mécanique*, pp. 115-121).

3.° L'ipotesi del Gibbs a mala pena si può chiamare spiegazione meccanica. Intanto il Gibbs non dice come siano costituiti i corpi, se di punti materiali sforniti di tutte le altre proprietà, se di struttura molecolare ecc.; egli lascia la più completa indeterminazione alla natura dei corpi; anzi, le equazioni che ottiene non possono applicarsi se si concepiscono i corpi come ammette la teoria cinetica: tanto che il Gibbs considera i corpi come deformabili, elastici, non semplici e neppure discontinui. Qualsiasi aggregato di corpi forma un sistema, i cui elementi sono sottoposti a forze ad essi esterne, ma di intensità determinata per ciascuno; queste forze devono emanare da un centro, non possono provenire da urti (con ciò si oltrepassa il meccanicismo e si abbandona la teoria cinetica). Un tale sistema si trova in equilibrio quando gl'innumerevoli movimenti disordinati a cui possono essere sottoposti gli elementi sono tali che lo stato medio del sistema rimane invariato: come la quantità di abitanti di una città non varia quando le nascite e le morti si compensano. Si ha allora lo stato di *equilibrio statistico*. Il Gibbs trovò che tra tutte le maniere di distribuirsi del movimento in un sistema che si trova in equilibrio statistico ve n'è una molto semplice, a cui diede il nome di « distribuzione canonica », che fornisce equazioni analoghe a quelle della termodinamica; e ci è una certa grandezza, detta « modulo di distribuzione », che compie nelle equazioni del nostro sistema un ufficio analogo a quello della temperatura assoluta nelle equazioni della termodinamica. Come si vede, siamo ben lontani da una spiegazione genuinamente meccanica dei fenomeni termici; l'indeterminatezza dell'equilibrio statistico (unica maniera legittima, del resto, di ammettere un equilibro dinamico) non è certo coerente ai principî della meccanica. Inoltre fu osservato che l'analogia tra le equazioni di Gibbs e le equazioni della termodinamica non è mai perfetta, ma è tanto più esatta quanto più si definisce il sistema con un numero grande di variabili indipendenti, cioè quanto più si restituiscono agli elementi le loro qualità (figure, grandezze, proprietà fisiche determinate); questa conclusione mostra dunque che per dare un'illustrazione, sia pure analogica, dei fenomeni termici, si è dovuto abbandonare il campo delle concezioni meccaniche (1).

---

(1) Duhem, *L'évolution de la mécanique*, pp. 121-127.

L'insuccesso dei tre migliori tentativi di fornire una teoria meccanica del calore deve mettere in sospetto che la riduzione dei fenomeni termici a processi meccanici sia impossibile in generale per un'incompatibilità tra i due ordini di fenomeni. Il secondo principio della termodinamica mette in evidenza questa incompatibilità e distrugge, crediamo, per sempre ogni tentativo di ridurre l'energia termica ed energia cinetica. Data l'importanza che ha questo principio non solo nella termodinamica, ma in tutta la fisica, e dato che è il fondamento principale su cui ci appoggeremo nella discussione del problema dell'origine delle differenze qualitative, è necessario che ci diffondiamo in questa esposizione.

Tutti i processi il cui studio è oggetto della meccanica sono, come abbiamo più volte osservato, perfettamente reversibili; al compimento di un processo meccanico è indifferente la direzione in cui si svolge, come, per così dire, un circolo non varia se lo si disegna muovendo la penna da destra a sinistra o muovendola da sinistra a destra. Un sistema materiale che ha subìto un cangiamento, passando da una situazione iniziale A ad una situazione finale B, deve poter subire un nuovo cangiamento che, mediante l'uso di un numero uguale di forze, ma dirette in senso opposto, lo riconduca dalla situazione B alla situazione A in un tempo uguale. Basta rovesciare il senso delle forze, perchè il processo intero s'inverta. Questo non vuol dire che un processo, dopo che s'è compiuto in un dato senso, debba potersi compiere in senso inverso spontaneamente, senza il consumo di nuove energie: chè allora si avrebbe un movimento perpetuo, il quale, se non rappresenta un'assurdità logica, rappresenta sì un'impossibilità fisica, perchè implica la creazione di energia dal nulla. Ma dev'essere sempre possibile, coll'uso delle forze necessarie, ricondurre il sistema nelle primitive condizioni. Dunque se il mondo fosse un sistema meccanico, tutti i processi dovrebbero essere reversibili. Ora, il secondo principio della termodinamica ci dice in fondo che « il lavoro esterno, l'energia cinetica, può trasformarsi completamente in calore; ma la trasformazione inversa del calore in lavoro non può effettuarsi se non entro proporzioni limitate ». Questo principio sta sospeso ad un postulato suggerito dall'esperienza ma incapace di essere dimostrato in base ai principî del meccanicismo: il *postulato di Clausius*, per cui il calore può trasmettersi spontaneamente da un corpo più caldo

ad uno meno caldo, mentre la trasmissione inversa è impossibile (il principio di CARNOT aveva già stabilito che per ottenere un lavoro è necessario avere un disequilibrio termico).

Di qui si ricava che in ogni trasformazione di energia vi è sempre una quantità di energia termica che non può essere trasformata in movimento. Siano due corpi A e B aventi rispettivamente le temperature Θ e ϑ, e sia $\Theta > \vartheta$. Messi i due corpi a contatto, A dovrà cedere a B una certa quantità di calore Q tale che, alla fine del processo, le temperature dei due corpi siano uguagliate in una temperatura media T: allora si avrà l'equilibrio termico. Ma consideriamo un momento intermedio del processo: supponiamo che A abbia, dopo un certo tempo, ceduto a B una quantità di calore dQ; allora la sua temperatura sarà abbassata a Θ', minore di Θ ma sempre maggiore della temperatura finale T, e la sua quantità di calore sarà aumentata di $-dQ$. In questo momento, B avrà acquistata la quantità di calore dQ e la sua temperatura si sarà elevata a ϑ', maggiore di ϑ ma sempre minore di T. Il rapporto tra l'aumento della quantità di calore e la temperatura è dunque in A: $\frac{-dQ}{\Theta'}$, e in B: $\frac{dQ}{\vartheta'}$. A questo rapporto CLAUSIUS ha dato il nome di *aumento di entropia;* la somma dei due rapporti, $\frac{-dQ}{\Theta'} + \frac{dQ}{\vartheta'}$, è maggiore di zero, essendo $\Theta > \vartheta'$. Dunque, considerando i due corpi come formanti un unico sistema, in questo momento si ha un aumento positivo di entropia. Lo stesso può ripetersi per ogni momento successivo del processo; ed è evidente che quando il sistema avrà raggiunta la temperatura dello stato finale T, l'entropia del sistema avrà raggiunto il valore massimo. Ora, se il processo fosse perfettamente reversibile, dovremmo poter ricondurre da B in A l'intera quantità di calore Q e riportare i due corpi alle due temperature iniziali Θ e ϑ; alla fine del processo tutto l'aumento di entropia ottenuto per mezzo della prima trasformazione andrebbe perduto: l'entropia totale del sistema rimarrebbe invariata. Questo accadrebbe in un « ciclo chiuso di trasformazioni », ciclo reversibile come è quello studiato da CARNOT. Ma la reversione del processo non è possibile, perchè, pel postulato di CLAUSIUS, per avere una trasmissione di calore bisogna disporre di due temperature e la trasmissione avviene sempre nel medesimo senso, dal corpo più caldo al corpo meno caldo; quindi non si potrà mai perdere l'intero aumento di entropia ottenuto mediante un processo

fisico. Se ne conclude che « in qualunque processo fisico la somma delle entropie dei corpi che vi partecipano subisce un aumento ». Possiamo chiamare questo principio, fondato esclusivamente su dati sperimentali, « principio dell'irreversibilità ».

L'entropia, che abbiamo definita per mezzo di un rapporto, è effettivamente una grandezza che CLAUSIUS vide comparire nelle equazioni della termodinamica; ma ha anche un significato fisico importantissimo. Quando abbiamo due corpi A e B di differente temperatura, non tutta la quantità di calore di A può essere ceduta a B, ma soltanto quella parte Q, tolta la quale ad A ed aggiunta a B, i due corpi vengono a possedere uguale temperatura. WILLIAM THOMSON enunciò questo fatto sperimentale in un postulato (poco diverso da quello di CLAUSIUS) per cui non si può ricavare lavoro meccanico da un corpo quando lo si sia raffreddato al disotto del livello di temperatura dei corpi circostanti. Vi è dunque una parte dell'energia termica di A che non può essere trasformata in lavoro. Ora è evidente che quando A ha ceduto a B una quantità di calore dQ, questa, non potendo, pel postulato di CLAUSIUS, essere ricondotta in A, rappresenta una quantità di energia non trasformabile ulteriormente in lavoro; la quantità di *energia non trasformabile* del sistema, in questo momento, sarà aumentata; e nello stato d'equilibrio finale, non essendo più possibile una trasformazione di energia, tutta l'energia del sistema sarà diventata inutilizzabile. Se il processo fosse reversibile, si dovrebbe poter ottenere di nuovo la quantità di energia allo stato utilizzabile; ma poichè tutti i processi naturali sono irreversibili, si può concludere che in ogni processo fisico vi è sempre una certa quantità di energia che diventa non trasformabile. All'aumento di entropia, dal lato matematico, corrisponde dunque dal lato fisico un aumento della parte di energia non trasformabile, e di conseguenza una diminuzione del potenziale termodinamico del sistema.

Il principio dell'aumento di entropia mostra all'evidenza l'impossibilità di ridurre i fenomeni termici a processi meccanici. Quando abbiamo esposte e criticate le tre ipotesi principali con cui si cercò di ridurre il calore a movimento, abbiamo aggiunto che un'altra critica generale poteva farsi a tutti i tentativi di spiegazione meccanica dei fenomeni termici; l'obbiezione è che tutte le ipotesi che pretendono ridurre il calore a movimento non possono dare ragione del

secondo principio della termodinamica. Anzitutto le analogie che abbiamo altra volta riferite tra fenomeni termici ed alcuni fatti meccanici (differenza di potenziale dinamico come condizione necessaria per produrre un lavoro, dipendenza del lavoro delle macchine idrauliche dalla sola altezza da cui cade l'acqua, trasmissione del movimento da una massa più veloce ad una meno veloce) o non provano nulla sulla natura del calore, o sono analogie soltanto apparenti; è vero p. es. che il lavoro meccanico consiste nel passaggio di una massa da una superficie equipotenziale ad un'altra; ma i principî della meccanica non pongono nessun limite alla possibilità di passare da una superficie avente potenziale più basso ad una superficie avente potenziale più alto; un sasso caduto dalla vetta di un monte al piano può sempre essere ricondotto sulla vetta, pur di spendere il lavoro opportuno; mentre non è mai possibile trasformare interamente in lavoro una quantità di energia termica Lo stesso può ripetersi per la differenza d'altezza nelle macchine idrauliche, applicazione del teorema del potenziale; e quanto alla trasmissione del movimento, è vero che una massa che ne urta un'altra le comunica sempre una velocità un po' minore della propria, ma questo avviene appunto per l'intervento di fattori (le proprietà fisiche delle masse, come il grado di elasticità, la forma ecc.; lo sviluppo di calore, l'attrito) che non si riducono a movimento; in una meccanica ideale si dovrebbe sempre ammettere la trasmissione completa della velocità: che se poi non si verifica, è perchè il mondo non ubbidisce alle pure leggi della meccanica.

Si è cercato allora di negare il secondo principio della termodinamica, per rimanere fedeli ai preconcetti meccanicistici. Il Boltzmann, p. es. ha certato di dimostrare che la reversibilità dei processi termici rappresenta una difficoltà pratica, tecnica, non un'impossibilità fisica; sarebbe un difetto dell'arte umana, non una legge di natura, l'impossibilità di trasformare completamente l'energia termica in lavoro. Egli distingue nelle molecole dei corpi due specie di movimenti: il movimento *ordinato,* che consiste nello spostamento complessivo delle molecole da un punto ad un altro dello spazio, con uguale velocità e direzione (lo spostamento del corpo nel suo insieme); e il movimento *disordinato* delle molecole nell'interno del corpo, le quali mantengono un equilibrio dinamico, movimento che costituisce il calore. Tra le due specie di movimento non sussi-

sterebbe differenza essenziale; soltanto, mentre noi riusciamo, per mezzo di macchine, ad utilizzare l'energia del movimento ordinato, p. es. per produrre altro lavoro, o per scaldare un corpo ecc., « è per l'arte sperimentale un problema attualmente insolubile il trasformare l'energia totale del movimento disordinato in un lavoro qualsiasi..... Questo problema sarebbe facilmente risoluto da un essere capace di prendere l'energia meccanica delle molecole separatamente; il che noi possiamo fare per corpi abbastanza grandi, ma non per delle molecole impercettibili ai nostri sensi » (1). Questa concezione finisce col mettersi in contrasto coll'esperienza. Non soltanto nelle trasformazioni artificiali, ma anche e più ancora nelle trasformazioni naturali si verifica l'irreversibilità dei fenomeni; sicchè abbiamo il diritto di credere che l'irreversibilità non rappresenti un difetto dell'arte sperimentale, ma unalegge di natura. Il principio dell' aumento di entropia, infatti, non soltanto dice che non tutta l'energia termica di un corpo può essere trasformata in lavoro, ma anche che quella parte dell' energia termica che può essere trasformata in lavoro, non lo può se non al patto che un'altra parte di energia termica vada inutilizzata. Ogni trasformazione di energia termica in energia cinetica è accompagnata da un aumento di energia non trasformabile. È il concetto di entropia che non si ricava in nessuna maniera da considerazioni meccaniche. Il Boltzmann ha dimostrato un teorema molto interessante, che dobbiamo limitarci ad accennare: « l'entropia di un gaz è proporzionale al logaritmo della probabilità del suo stato »; perciò, siccome ogni sistema isolato tende verso il suo stato più probabile, in ogni suo cangiamento l'entropia aumenta. Il principio è giusto ed ha il merito di farci comprendere con molta evidenza il significato fisico della funzione matematica entropia; ma è chiaro che i concetti introdotti così dal Boltzmann non sono più concetti meccanici, perchè in meccanica pura, essendo ogni cangiamento reversibile, non esiste uno stato più probabile di un altro; l'introduzione del postulato sperimentale che « ogni sistema isolato tende verso lo stato più probabile » viola le leggi della meccanica e introduce, diciamo pure, il concetto di una finalità, perchè ammette che la direzione in cui i cangiamenti si compiono non sia indifferente, che ci sia un'*evoluzione* verso una meta.

---

(1) Nernst, *Traité de chimie générale* (trad. franc.), vol. I, p. 235.

Anche le ipotesi di HELMHOLTZ e di GIBBS non rispondono allo scopo. HELMHOLTZ cercò con notevole sforzo di ricavare il secondo principio della termodinamica dalle leggi dell'accoppiamento di due sistemi monociclici le cui equazioni ammettono un ugual divisore (p. es. due trottole connesse in modo da essere costrette ad uguale velocità); ma la sua conclusione è la stessa del BOLTZMANN: «Es beruht nur auf der Beschränkung der uns zu Gebot stehenden Methoden, und nicht in Wesen der Bewegung» (1). Perciò questa teoria va soggetta alle medesime critiche. Del resto ripetiamo che l'HELMHOLTZ non dava valore esplicativo, ma soltanto analogico ai processi meccanici che sembrano condursi in maniera simile ai processi termici. Quanto alla teoria di GIBBS, abbiamo già detto che non potrebbe neppure chiamarsi una teoria meccanica. Le equazioni dei sistemi in equilibrio statistico non sono identiche alle equazioni della termodinamica, che stanno a quelle come dei casi limiti. E poi rimarrebbe sempre a spiegare il perchè i processi termodinamici corrispondano proprio ai processi dei sistemi aventi la «distribuzione canonica» dei movimenti introdotta dal GIBBS, la quale, per di più, si ottiene con innumerevoli limitazioni delle leggi della meccanica. La teoria del GIBBS rimarrà sempre, come dice il DUHEM, il più poderoso tentativo di dare un'illustrazione dinamica dei fenomeni termici, ma non ne darà mai una «spiegazione».

Falliti i tentativi di negare il secondo principio della termodinamica, non rimane che accettarlo, come quello che è suggerito direttamente dall'esperienza, e vedere le conseguenze a cui guida. Questo principio stabilisce una differenza irriducibile tra l'energia cinetica e l'energia termica, poichè la legge del comportamento della prima (perfetta reversibilità) e la legge del comportamento della seconda (legge dell'irreversibilità) sono in vera opposizione. Se l'energia termica è, almeno parzialmente, non trasformabile in energia cinetica, vuol dire che vi è una differenza qualitativa tra le due forme di energia; senza una differenza di qualità non si vede perchè l'una forma di energia opponga, per così dire, un ostacolo alla propria trasformabilità nell'altra. Che ad una data quantità di energia termica corrisponda una data quantità di energia cinetica (l'equivalente

(1) HELMHOLTZ, *Studien zur Statik der monocyklischen Systeme*, I (in Wiss. Abh., III, p. 136)

meccanico del calore), non implica affatto, come abbiamo assodato discutendo il valore del principio della conservazione dell'energia, l'identità qualitativa tra le due forme di energia. Quando si è detto che in ogni cangiamento vi è un'invariante universale, cioè la quantità di energia, non si è ancora spiegata la natura del cangiamento come modificazione qualitativa della realtà sperimentabile; occorre anche sapere *in che senso* si produce il cangiamento, e questo è indicato appunto dal secondo principio della termodinamica (1).

La concezione meccanica, in ultima analisi, fermandosi a considerare ciò che rimane costante, la quantità, e trascurando ciò che cangia, l'aspetto qualitativo della natura, viene a concepire il cangiamento come un'apparenza e non come una realtà. Nell'esposizione del teorema di Carnot (v. retro p. 102), si sarà notato il procedimento artificioso con cui si è cercato di salvare la reversibilità del processo termico: si è dovuto imaginare il processo termico come una successione di tanti stati d'equilibrio, separati da minime (e perciò trascurabili) deviazioni; il processo doveva essere immensamente lento. Se non che, non basta che le deviazioni siano minime per poter considerare il processo come reversibile: bisogna giungere al limite, e al limite non si ha più un processo lentissimo, ma una stasi, una permanenza d'equilibrio. O, insomma, le deviazioni dallo stato d'equilibrio sono rigorosamente nulle, e allora il processo non si compie; o non sono nulle, e allora per ciascuna si ripete la legge dell'irreversibilità, e non si è guadagnato nulla collo spezzare il processo di trasformazione in un numero molto grande di trasformazioni minime e coll'ammettere una speciale lentezza del processo. Il meccanicismo si aggira ancora negli inestricabili labirinti della scuola Eleatica, e al pari di questa deve giungere alla negazione del cangiamento. Ma il cangiamento non può essere soppresso senza porsi in contraddizione coll'esperienza; la realtà sperimentabile, il mondo delle qualità, ci fa d'ogn'intorno sentire la sua vita e ci dispiega l'ordine delle sue leggi. Perciò noi dobbiamo accettare il se-

(1) « Das Gesetz von der Erhaltung der Energie oder der erste Hauptsatz der Energetik giebt eine Antwort auf die Frage, in welchem Verhältniss die Mengen der verschiedenen Energieen zu einander stehen, wenn sie sich gegenseitig umwandeln. Wann aber eine solche Umwandlung eintritt, und welcher Umfang sie unter gegebenen Bedingungen erreicht, darüber bestimmt das Gesetz nicht ». Ostwald, *Vorlesungen über Naturphilosophie* (Leipzig, 1902), p. 246.

condo principio della termodinamica che fa del cangiamento qualitativo e della sua non invertibile direzione una legge della natura.

Così siamo spinti ad ammettere due forme di energia: l'energia cinetica e l'energia termica, qualitativamente diverse. Noi parliamo di « energia termica », rimanendo così sul terreno del mondo fenomenico, senza per ora domandarci che cosa possa corrispondere oggettivamente a questa forma di energia. E questo ci mette in guardia contro i vecchi e i nuovi sostenitori della teoria dei fluidi specifici, che del calore fanno una specie di materia (1). Contentandoci intanto di avere assodata questa prima differenza qualitativa tra due forme di energia, procediamo nel nostro esame e vediamo se altre forme di energia qualitativamente diverse debbano essere riconosciute.

E passiamo alla luce. Col diffondersi della concezione meccanica, la quale aveva accomunato calore e luce nell' unica classe dell' energia raggiante affermando che l'una e l'altra avevano per correlato oggettivo uno stesso ordine di accadimenti, il fenomeno della luce aveva perduto, nell' economia generale dell'universo, un poco della sua importanza; i seguaci rigorosi del meccanicismo lo consideravano apertamente come un fatto secondario. « Infatti, scrisse un valente cultore delle scienze fisiche, le radiazioni non solo esisterebbero senza che vi fossero occhi che le percepissero, ma continuerebbero ad avere immensa influenza in tutti i fenomeni della natura, con lo scaldare e promuovere azioni chimiche. Il fenomeno della visione per la luce è certamente ammirabile....., ma malgrado la somma importanza che ha per noi tal fatto, perchè da esso

(1) Parrà strano, data la sua posizione di fenomeni sta radicale, il trovare nel MACH rinnovata l'ipotesi del flui lo. Eppure egli, osservando che il calore, quando si abbassa la temperatura, può passare da un corpo ad un altro senza cessare di essere quell'energia che è, afferma che « per questa ragione il calore, oltre al suo carattere di energia, ha in molti casi il carattere di una sostanza materiale, di una massa »; e si domanda « se ci sia in generale un senso ed uno scopo scientifico nel continuare a considerare come energia una quantità di calore la quale non si può più trasformare in lavoro meccanico, quale sarebbe ad esempio il calore di un sistema chiuso di corpi aventi una temperatura perfettamente uniforme. È evidente che in questo caso il principio dell'energia è affatto ozioso, e se non è eliminato, ciò avviene per effetto di abitudine ». (MACH, *Letture scientifiche popolari*, trad. ital., p. 135). Noi crediamo che, se non si vogliono introdurre inopportune ipotesi metafisiche nella scienza, si debba considerare il calore come una forma di energia.

dipende la massima parte del nostro benessere, il fisico non può guardare l'azione illuminante delle radiazioni che come fenomeno secondario, e meramente subordinato ad un'altra legge ben più generale » (1).

Nel tracciare la storia delle teorie fisiche abbiamo accennato di sfuggita all'opposizione tra la teoria newtoniana dell'emissione e la teoria ondulatoria che riduce i fenomeni luminosi a movimenti vibratorî dell'etere. In realtà la spiegazione ondulatoria aveva sull'altra tali vantaggi di semplicità e di estensione, che non poteva non esserle preferita. La riflessione nel sistema newtoniano era spiegata ammettendo che dalle molecole della superficie dei corpi emanassero forze ripulsive misteriose, capaci di ricacciare indietro le molecole luminose dei raggi che cadevano sulla superficie stessa; spiegazione complicata e inaccettabile dal meccanicismo genuino. Nella teoria delle ondulazioni la spiegazione è più semplice: l'onda di etere spinta verso una superficie, giungendo al contatto con questa viene rimandata indietro (come si dimostra con una costruzione geometrica facilissima) in modo che l'angolo d'incidenza è uguale all'angolo di riflessione; spiegazione identica a quella che si dà per la riflessione delle onde sonore che dà origine al fenomeno dell'eco. Ostacolo più grave per la teoria newtoniana dell'emissione era lo spiegare il fenomeno della rifrazione della luce. I newtoniani, seguendo il solito metodo di inventare delle forze dovunque non apparisse altro mezzo di spiegazione, ammettevano nell'interno dei corpi un'altra forza d'intensità enorme (mille trilioni più della gravità), capace di attrarre entro il corpo le molecole luminose provenienti dall'esterno, deviando (non è detto il perchè) la direzione dei raggi; questa forza sarebbe stata in relazione colla natura dei corpi, e precisamente maggiore nei corpi più densi e più rifrangenti: perciò in questi corpi avrebbe dovuto aumentare la velocità di propagazione della luce. Le esperienze fatte da Fresnel in poi dimostrarono che, al contrario, nei mezzi più densi e più rifrangenti la velocità della luce è minore; la teoria dei newtoniani, già piena di misteri e d'incertezze, era così smentita dall'esperienza. Colla teoria ondulatoria si spiega con maggiore facilità come l'onda di etere, passando da un mezzo meno denso in un mezzo più denso, perda di velocità

(1) A. Secchi, *L'unità delle forze fisiche*, vol. I, p. 255.

per la resistenza che incontra, e debba quindi inclinarsi la direzione del raggio, formando un angolo che è in rapporto costante coll'angolo di incidenza. Il fenomeno dell'interferenza, poi, colla teoria dell'emissione era del tutto inesplicabile, perchè non si poteva ammettere che l'incontro di due raggi di molecole luminose generasse la loro distruzione reciproca; l'ipostatizzazione della luce in una sostanza materiale incontrava qui un ostacolo insormontabile. Invece alla teoria ondulatoria riusciva semplice la spiegazione del fenomeno, identica a quella che si dà per l'interferenza delle onde sonore: dati due sistemi di onde eteree generati dallo stesso centro, se uno di essi viene ritardato di una mezza lunghezza d'onda, le fasi positive dell'uno coincidono colle fasi negative dell'altro, sicchè i due moti uguali ed opposti generano l'equilibrio dell'etere; mentre se i due sistemi di onde distassero di un'intera lunghezza d'onda, nella sovrapposizione i movimenti si comporrebbero e ne seguirebbe un aumento dell'intensità della luce. Dove in ultimo la teoria dell'emissione ebbe il tracollo fu di fronte ai fenomeni di doppia rifrazione e di polarizzazione della luce, fenomeni di cui la teoria newtoniana non poteva neppure sospettare l'esistenza nè tentare una spiegazione. La polarizzazione della luce si verifica nel passaggio dei raggi luminosi attraverso cristalli di speciale struttura, tali cioè che la loro costituzione molecolare non è uguale in tutte le direzioni (corpi anisotropi): invece il fenomeno non si produce nel passaggio dei raggi attraverso corpi la cui struttura molecolare è identica in tutte le direzioni (corpi isotropi). Le proprietà dei raggi polarizzati si spiegano nella teoria ondulatoria ammettendo che le oscillazioni dell'etere siano trasversali, cioè perpendicolari al raggio (mentre le onde sonore sono longitudinali) e che nei raggi polarizzati i movimenti atomici dell'etere siano tutti orientati in un'unica direzione; allora deve accadere che quando le onde sono parallele alla superficie del corpo su cui cadono vengano riflesse, senza poter penetrare nel corpo stesso, mentre quando sono perpendicolari alla superficie l'urtino con maggior vigore e possano penetrarla. La legge di Brewster, dedotta dalle leggi della meccanica, dice che nella luce polarizzata il raggio incidente, quando è perpendicolare al raggio rifratto, non si riflette. Una conseguenza della forma trasversale delle ondulazioni dell'etere è che quando si sovrappongono due raggi polarizzati ad angolo retto, le loro vibrazioni, non

ostante che distino nel tempo di mezza lunghezza d'onda, non si distruggono, ma dànno luogo ad un movimento d'altra forma (orbitale). Dunque l'interferenza non deve aver luogo nella luce polarizzata: deduzione che venne infatti confermata dall'esperienza.

Abbiamo così accennato ai principali vantaggi della teoria ondulatoria sulla teoria emissiva. Vero è che alcune spiegazioni date dalla teoria ondulatoria conservano qualche cosa di artificioso, come tutte le spiegazioni meccaniche; quelle diverse forme supposte nei movimenti di una sostanza non percettibile, la cui esistenza è del tutto ipotetica (l'etere), sembrano inventate più per comodo della teoria che per esigenza dei dati sperimentali. Ma noi, senza fermarci sulle critiche speciali, facciamo alcune osservazioni generali su tal genere di teorie.

La teoria dell' emissione, ammettendo che le sensazioni luminose fossero provocate dal giungere sulla retina di corpuscoli immensamente piccoli emanati dai corpi luminescenti e percorrenti lo spazio con immensa velocità, ipostatizzava l'energia luminosa in un fluido specifico e dava quindi un fondo di oggettività alle qualità sensoriali, perchè doveva pur ammettere che quei corpuscoli luminosi fossero qualitativamente diversi dalle molecole che esercitano altre azioni sui nostri organi di senso; ciò del resto derivava, come vedemmo, dai principî della filosofia naturale di Newton, in cui l'unicità dello forze agenti della natura presupponeva tacitamente delle differenze qualitative negli elementi tra cui intercedono. Il meccanicismo non poteva acquietarsi in questa teoria; perciò quando si vide che i fenomeni la cui spiegazione era un ostacolo insormontabile per la teoria dell'emissione venivano invece chiaramente spiegati quando s' interpretavano come forme di movimenti, la teoria ondulatoria ebbe facile trionfo. Bisogna per altro notare che l' opposizione tra le due teorie riguarda l' *interpretazione* dei fenomeni, ma che le leggi stabilite sperimentalmente e formulate matematicamente rimangono invariate tanto nell'una che nell' altra teoria. Anzi in questo campo le ipotesi non furono, da un punto di vista storico, molto feconde, perchè raramente riuscirono a prevenire le scoperte sperimentali; e il succedersi piuttosto rapido della teoria emissiva, della teoria ondulatoria e, più recentemente, della teoria elettro-magnetica della luce ha diminuito anche negli scienziati la fiducia nel valore di certe ipotesi esplicative. Così l' energia

raggiante può essere studiata nel suo comportamento facendo astrazione da codeste ipotesi; la « legge del coseno » di LAMBERT, per esempio, secondo cui la quantità di energia raggiante che arriva ad una superficie nell' unità di tempo è proporzionale alla proiezione di essa superficie sopra un piano perpendicolare al raggio, o, che è lo stesso, al coseno dell' angolo di incidenza, e l' energia emessa dalla sorgente luminosa è proporzionale al coseno dell' angolo di emissione, è indipendente dalla ipotesi sulla natura oggettiva della luce. Lo stesso può dirsi della legge di STEFAN, che stabilisce il rapporto tra la quantità di energia irragiata da un corpo e la sua temperatura, legge che fu dimostrata esatta solo per un corpo perfettamente assorbente. Un corpo perfettamente assorbente, che non esiste in natura, sarebbe un corpo capace di trasformare interamente in energia termica l' energia raggiante che giunge su di lui, anche se è energia luminosa; un tale corpo, assorbendo tutti i raggi luminosi, non ci potrebbe apparire colorato, e perciò vien detto « corpo assolutamente nero ». Con questo nome non si ritiene, di solito, di avere introdotto un elemento qualitativo, giacchè il « corpo assolutamente nero » viene definito soltanto come un « assorbente integrale », tanto che se fosse scaldato alla temperatura del rosso o del bianco non cesserebbe di essere assolutamente nero. La legge di STEFAN e la teoria degli scambî di PRÉVOST – per cui dei corpi mantenuti in un ambiente a temperatura costante scambiano tra loro delle quantità di energia che si fanno equilibrio, per modo che un corpo tanto assorbe quanto emette - hanno guidato il KIRCHHOFF all' enunciazione della legge fondamentale dell' energia raggiante: « Il potere emissivo di un corpo è uguale al suo potere assorbente », o, come può dirsi più esattamente, il rapporto tra il potere emissivo di un corpo a una data temperatura e il potere emissivo del corpo perfettamente assorbente è eguale al rapporto tra la quantità di energia raggiante assorbita dal corpo considerato a quella temperatura e la quantità di energia assorbita dal corpo assolutamente nero. Queste leggi non sono affatto legate ad alcuna teoria meccanica, anzi non sempre possono essere interpretate meccanicamente. Ora appunto noi, fondandoci su queste leggi sperimentali, dobbiamo vedere se la riduzione dell' energia luminosa ad energia cinetica dell' etere sia dimostrata e in genere se sia possibile. Come l' impossibilità di trasformare completamente l' energia termica in energia cinetica ci ha condotti ap

ammettere una differenza qualitativa tra queste due forme di energia, così se troveremo un limite nella trasformabilità dell'energia luminosa in energia termica saremo autorizzati, per la medesima ragione, a riconoscere una differenza qualitativa tra queste due forme di energia.

Come all'enunciazione del principio di Carnot si è giunti attraverso la considerazione del caso - limite dei processi reversibili, così alla legge fondamentale dell'energia raggiante, la legge di Kirchhoff, si giunge attraverso lo studio del caso-limite, che qui è rappresentato da quello che abbiamo detto « corpo perfettamente nero », un corpo cioè perfettamente assorbente, capace di manifestare esclusivamente sotto forma di calore l'energia raggiante che agisce su di lui. Riprendiamo le leggi a cui abbiamo già accennato nella nostra esposizione delle teorie meccaniche. Anzitutto, la legge Stefan, per cui la quantità di energia irraggiata da un corpo è proporzionale alla quarta potenza della sua temperatura assoluta, vale soltanto per un corpo la cui energia raggiante sia soltanto energia calorifica, com'è appunto il corpo perfettamente assorbente; la legge non è più esatta quando il corpo, oltre all'energia raggiante calorifica, svolge energia raggiante luminosa. La teoria degli scambî di Prévost e la legge di Kirchhoff valgono pure soltanto per corpi capaci di irraggiare solamente energia termica. La legge di Kirchhoff fa riscontro al teorema di Carnot, perchè significa, in ultima analisi, che è impossibile creare un disequilibrio termico tra due corpi aventi ugual temperatura (è impossibile, diremo in questo caso, che di due corpi aventi uguale temperatura l'uno abbia sull'altro un potere emissivo maggiore) senza l'uso di un lavoro esterno che aumenti la temperatura di uno dei due corpi. Ma non basta; come il teorema di Carnot, applicabile solo ai cicli reversibili, subisce poi le limitazioni contenute nel principio dell'entropia, così la legge di Kirchhoff subisce delle analoghe limitazioni. Solo teoricamente si può parlare di un corpo che realizzi l'« irraggiamento calorifico puro »; in realtà, ogni corpo emette, oltre all'energia raggiante calorifica, anche un'altra forma di energia raggiante quella luminosa; ciò vuol dire che è impossibile che un corpo emetta soltanto sotto forma di calore l'energia raggiante che assorbe: ve n'è una parte che è refrattaria ad essere trasformata in calore. Per questo la legge di Kirchhoff ha un valore soltanto teorico come il teorema di Carnot. La quantità di

energia raggiante, assorbita da un corpo, incapace di essere svolta sotto forma di calore, e perciò svolta sotto forma di luce, viene detta « rendimento fotogenico » di quel corpo; e poichè *ogni corpo ha un proprio rendimento fotogenico,* possiamo concludere anche qui che l'impossibilità di una completa trasformazione dell'energia raggiante in calore è indice di una differenza qualitativa tra l'energia termica vera e propria e l'energia raggiante luminosa. Lo svolgimento dell'energia raggiante sotto forma di calore, possiamo dire, è possibile al patto che vi sia una quantità di energia raggiante che venga svolta sotto forma di luce: proprio come la trasformazione di energia termica in lavoro meccanico è possibile solo al patto che un'altra parte di energia termica vada inutilizzata come lavoro e resti energia termica. Anche i corpi perfettamente assorbenti, quando fossero portati ad alte temperature subirebbero delle modificazioni tali, che emetterebbero anche raggi luminosi; p. es. il nerofumo, che, dei corpi sperimentabili, è quello che più di ogni altro si avvicina al caso ideale del corpo perfettamente nero, ad una temperatura di 5000 gradi assoluti avrebbe un notevole rendimento fotogenico, emetterebbe raggi rossi. Naturalmente, sarebbe un enorme dispendio di energia il volersi servire di questi corpi per illuminare, e l'effetto sarebbe sempre piccolissimo; « c'est consentir à un formidable gaspillage d'énergie. C'est allumer un incendie pour faire cuire un oeuf » scrive argutamente il Brunhes (1). Perciò si ricorre a corpi che trasformino in calore poca energia raggiante e ne svolgano la massima parte sotto forma di luce; quanto minore è il potere assorbente, tanto maggiore è il rendimento fotogenico dei corpi. I corpi colorati posseggono un rendimento fotogenico maggiore dei corpi neri; quelli luminescenti poi (corpi fluorescenti, fosforescenti, infine gli animali fotogeni) danno un rendimento fotogenico molto maggiore. Sicchè possiamo concludere che le deviazioni dalla legge di Kirchhoff hanno la loro radice nella natura stessa dell'energia luminosa; vi è in questa qualche carattere che la rende irriducibile all'energia termica e ne fa una forma di energia qualitativamente diversa da ogni altra.

Ed ora ci domandiamo: è giusto continuare a raccogliere l'energia termica e l'energia luminosa sotto il nome di « energia raggiante »? Prescindendo anche dal fatto che l'irraggiamento

(1) Brunhes, *La dégradation de l'énergie* (Paris, 1908), p. 99.

è solo qualche volta il mezzo di trasmissione del calore e non rappresenta affatto un carattere essenziale dell'energia termica, è indubitabile che tra le due forme di energia vi è una differenza di comportamento e di effetti notevolissima. L'azione riscaldatrice e dilatatrice dei corpi che ha il calore non ha nulla a che fare coll'azione illuminatrice e coll'efficacia chimica posseduta dalla luce; e tale differenza è così grande, che non sarà mai possibile dimostrare come e perchè sia soltanto l'effetto di una differenza di rapidità nei movimenti dell'etere. Che per alcuni fenomeni (come la riflessione, la rifrazione e l'interferenza, non, del resto, esclusivi del calore e della luce) le due forme di energia presentino qualche somiglianza, non implica affatto che siano riducibili ad una forma unica. Il nome di « energia raggiante », alludendo ad un fatto che è tipico della luce mentre è del tutto accidentale per il calore, dovrebbe così essere riservato all'energia luminosa. Ma ciò che importa, più che il nome, è il dato di fatto dell'impossibilità di eliminare le differenze qualitative tra questa e le altre forme di energia.

Con questi criterî ci disponiamo a guardare l'altra riduzione che fu tentata dell'energia luminosa, non più a movimento, ma ad elettricità, per opera della teoria elettromagnetica della luce. Fino dal 1848 il fisico svizzero Augusto de la Rive affermava che l'elettricità avrebbe presto cessato di essere oggetto di una scienza particolare, un semplice ramo del tronco principale della fisica, « parce qu'elle apparait dans toutes les actions dont s'occupe la physique ». E non s'ingannava; se il suo sogno non potrà forse essere realizzato per intrinseche difficoltà, è certo che la fisica contemporanea ha fatto un poderoso sforzo verso la sua attuazione. Uno dei tentativi più notevoli per porre l'elettricità alla base dei fenomeni fisici è senza dubbio quello con cui James Clerk Maxwell, dopo aver data una teoria meccanica dell'elettricità, sulla quale ci tratterremo più in avanti, cercò di collegare due parti della fisica che prima di lui erano state interamente distinte, l'ottica e l'elettrica, fondando la *teoria elettromagnetica della luce*. Le ragioni che spinsero il Maxwell a tentare la spiegazione elettromagnetica dei fenomeni luminosi son dette da lui in una pagina del suo celebre Trattato, che è utile riportare perchè conferma il procedimento consueto del meccanicismo di considerare come origine oggettiva dei fenomeni ciò che, essendo quantificabile, serve a misurare le variazioni qualitative.

« In diversi punti di questo tratatto si è tentato di spiegare i fenomeni elettro-magnetici supponendo un'azione meccanica che si trasmette da un corpo ad un altro con l'intermediario di un mezzo (ambiente) il quale riempirebbe tutto lo spazio tra i corpi. Anche nella teoria ondulatoria della luce si suppone l'esistenza di un mezzo. Noi vogliamo ora dimostrare che il mezzo elettro-magnetico ha proprietà identiche a quelle del mezzo nel quale si propaga la luce. Riempire lo spazio di un nuovo mezzo tutte le volte che si debba spiegare un nuovo fenomeno, sarebbe un processo poco filosofico; invece, se a traverso lo studio di due rami di scienza differenti siamo arrivati a formulare l'ipotesi di un mezzo, e se le proprietà che ad esso bisogna attribuire, per render conto dei fenomeni elettro-magnetici, si trovano della stessa natura di quelle che noi dobbiamo attribuire all'etere luminoso per spiegare i fenomeni della luce, le nostre ragioni di credere all'esistenza fisica di un simile mezzo riceveranno seria conferma. Ora, le proprietà dei corpi sono suscettibili di misure quantitative. Possiamo cioè ottenere il valore numerico di certe proprietà del mezzo, per esempio il valore della velocità colla quale si propaga una perturbazione, velocità che possiamo calcolare con esperienze elettro-magnetiche e che possiamo osservare direttamente nel caso della luce. Se si trova che la velocità di propagazione delle perturbazioni elettro-magnetiche è la stessa della velocità della luce, e non soltanto nell'aria, ma in tutti gli altri trasparenti, avremo delle forti ragioni per credere che la luce sia un fenomeno elettro-magnetico, e, con la combinazione di prove ottiche e magnetiche, ci potremo convincere della realtà di questo mezzo, così assolutamente come, nei casi delle altre specie di materia, ci convinciamo per le combinate testimonianze dei sensi » (1).

Accenniamo rapidamente al concetto informatore della teoria elettromagnetica della luce. Oltre alle correnti elettriche continue, come sono quelle generate da forze elettromotrici praticamente costanti e dirette sempre nello stesso senso (sebbene in realtà tutte le forze elettromotrici siano alquanto variabili e generino quindi una corrente ondulata), vi sono le correnti alternative, che cambiano frequentemente direzione e non possono quindi essere considerate come continue. In

(1) Maxwell, *Trattato di elettricità e magnetismo*. Cit. da G. Marchi, *L'elettricità* (Milano, 1913), pag. 363).

condizioni speciali, quando la resistenza offerta dal circuito è minima, ed hanno invece alti valori la capacità elettrostatica del sistema, che determina un anticipo della corrente, e la resistenza causata dall'auto-induzione, che determina un ritardo, si ha una corrente elettrica oscillante, le cui vibrazioni suscitano nell'etere delle onde (dette perciò elettromagnetiche) la frequenza delle quali, dipendendo dalle condizioni del circuito, può essere resa altissima. Quando la scarica oscillante produce onde elettromagnetiche ad alta frequenza, i fenomeni termici e luminosi che anche ordinariamente si producono prendono il sopravvento ed assumono la maggiore importanza. Le onde elettromagnetiche più lente e lunghe sono quelle che l'Hertz riuscì a produrre mediante un oscillatore messo in comunicazione con un rocchetto di Ruhmkorff: esse hanno la massima velocità di 600 milioni al secondo, possono essere lunghe anche alcuni metri, sono capaci di superare ostacoli senza deformarsi e quindi di trasmettere segnalazioni mediante opportuni apparecchi di trasmissione e di recezione; queste onde non sono affatto percettibili. Aumentando la frequenza delle oscillazioni si giunge a produrre la scintilla e, con opportuni dispositivi (esperienze di Tesla sulle correnti alternative ad alta frequenza), si possono ottenere i raggi colorati dello spettro solare. Le ricerche di Hertz hanno mostrato che la velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche è appunto la velocità della luce; e i successivi studî, a cui contribuì principalmente il Righi, hanno mostrato che tutti fenomeni di rifrazione, riflessione, interferenza, polarizzazione che si ottengono coi raggi luminosi, possono ripetersi per mezzo delle onde elettromagnetiche. Accomunati dalla somiglianza di tanti caratteri, i fenomeni luminosi e i fenomeni elettrici appaiono avere una radice unica; e la luce appare non altro che la manifestazione soggettiva di un processo fisico elettromagnetico. Tali le linee principali di questa celebre teoria; senza addentrarci in ulteriori osservazioni particolari, cerchiamo ora di fare alcune critiche d'interesse filosofico generale.

In primo luogo osserviamo che la teoria elettromagnetica della luce non ha rovinata la teoria dell'ondulazione nello stesso senso in cui la teoria dell'ondulazione aveva rovinata la teoria dell'emissione. Che ciò che vi è di oggettivo nella luce sia un complesso di onde di etere, rimane fermo tanto

colla teoria dell' ondulazione quanto colla teoria elettromagnetica; la differenza riguarda soltanto l' *origine* delle onde, che per la prima teoria erano dovute a processi meccanici, per la seconda a processi elettrici e magnetici. E allora ci possiamo con diritto domandare se, dopo aver data una spiegazione meccanica dei fenomeni elettromagnetici spogliandoli d'ogni particolarità qualitativa che li distingua dagli altri processi meccanici, abbia un senso il parlare di una spiegazione elettromagnetica della luce. O bisogna rinunziare alla teoria meccanica dell'elettricità e confessare la differenza tra i processi meccanici e i fenomeni elettrici; o bisogna confessare che tra la teoria della ondulazione e la teoria elettromagnetica della luce non c' è differenza sostanziale, e che tutto si riduce a vedere se nei corpi che a noi appaiono luminosi si possano ragionevolmente ammettere le stesse condizioni che danno luogo a quella speciale classe di processi meccanici che diciamo elettrici; questione che appare di ben difficile soluzione e di significato ben scarso.

In secondo luogo, colla teoria elettromagnetica della luce si introduce tacitamente nel principio esplicativo dei fenomeni luminosi un elemento qualitativo, quello cioè che caratterizza i processi elettromagnetici e li distingue dagli altri processi fisici (del che parleremo tra breve). Ma allora si può domandare se nei fenomeni luminosi si trovi traccia di questi caratteri; se vi sia, insomma, nei fenomeni luminosi qualche cosa che tradisca la loro natura elettromagnetica. Ora nulla di questo ci rivela l'esperienza. E allora, se ci si limita a dire che i movimenti da cui si origina la luce sono analoghi ai movimenti delle onde elettromagnetiche, se, cioè, si trova la base comune alle due classi di fenomeni fisici non già in qualche carattere peculiare dei processi elettrici, ma nell' esser gli uni e gli altri dei movimenti - c'è da domandarsi in che cosa la teoria elettromagnetica della luce abbia vantaggio sulle teorie meccaniche e come mai tanti scienziati moderni, nel nome di tali concezioni elettromagnetiche, assumano atteggiamento di opposizione al meccanicismo.

Per questi motivi, anche dopo la teoria elettromagnetica della luce noi crediamo di dover tenere fermo ai concetti a cui ci siamo inspirati nella nostra discussione: l' inutilità di ogni tentativo di spiegare i fenomeni luminosi per mezzo di

ipotesi meccanicistiche sulla natura dei processi oggettivi corrispondenti alle manifestazioni di luce, e l'irriducibilità della energia raggiante alle altre forme dell'energia.

Le tre forme di energia di cui abbiamo fin qui parlato - cinetica, termica e raggiante, - sebbene non esauriscano la la loro essenza nell'apparire a noi, tuttavia ci si rivelano mediante le corrispondenti qualità sensoriali di movimento, calore e luce. Noi per altro, come si sarà visto, non abbiamo tenuto nessun conto, nell'individuarle, di questo carattere, rimproverando anzi alle dottrine antiche e medioevali un simile errore di metodo; perciò non si avrà nulla da obiettare se, con l'appoggio di validi argomenti, affermeremo ora l'esistenza di altre forme di energia, qualitativamente irriducibili, le quali pure non ci si rivelano per mezzo di qualità sensoriali specifiche (1).

E prima di tutto l'energia elettrica. Per l'elettricità non abbiamo nessun organo sensoriale speciale, e neppure gli altri sensi ci forniscono sensazioni speciali: quando si producono fenomeni elettrici percepiamo movimenti esterni, scosse muscolari, riscaldamento, scintille. Ciò non ostante essi hanno caratteri così nettamente distinguibili da formare una classe ben determinata di processi fisici. Vi è in primo luogo il fenomeno elementare dell'attrazione e della ripulsione; vi è poi la distinzione polare di due stati elettrici diversi, il positivo e il negativo, così nettamente distinti (senza stati intermedî) che alcuni li hanno ritenuti irriducibili ed hanno perfino finito coll'ipostatizzarli in due sostanze diverse; vi è il fatto che questi due stati sono indipendenti dalla natura del corpo, giacchè uno stesso corpo può a volta a volta possedere lo stato elettrico positivo o lo stato elettrico negativo, e anche contemporaneamente possedere i due stati in parti diverse. Vi è il fatto che la comunicazione dell'elettricità da un corpo ad un altro può avvenire, oltre che per contatto, per semplice influenza, giacchè basta avvicinare un corpo elettrizzato ad un secondo corpo affinchè questo acquisti uno stato elettrico, e

(1) Cfr. quanto dicemmo nell'introduzione (pag. 24) criticando il fenomenismo del MACH. Anche l'OSTWALD dice, al proposito di queste forme di energia di cui incominciamo a parlare: « Sie unterschieden sich von den meisten anderen Energiearten dadurch, dass sie nicht mit einem besonderem Sinnesapparat unseres Körpers in Beziehung stehen » (*Vorlesungen über Naturphilosophie*, Leipzig, 1902, p. 288).

acquisti nei punti vicini lo stato contrario a quello dell'influenzante e nei punti lontani lo stato omonimo (fenomeno dell'induzione elettrostatica). Infine vi è il fatto che lo stato elettrico si porta sempre alla superficie dei corpi, tanto che basta toglierne una sottilissima pellicola superficiale per scaricare del tutto il corpo della sua elettricità.

Già questi elementari fenomeni bastano a caratterizzare l'originalità dei processi elettrici di fronte agli altri processi fisici. A questi caratteri, che ne comprendono l'aspetto qualitativo, va aggiunto il fatto che si possono sottoporre i fenomeni elettrici a misure quantitative indipendenti dal riferimento ad altre classi di processi fisici, fondandosi su questi due principî suggeriti dalle esperienze elettroscopiche: 1° che la quantità di elettricità del corpo influenzante è uguale alla quantità di elettricità indotta; 2° che due quantità di elettricità uguali ma di segno contrario lasciano inalterato (non elettrizzato) lo stato di un corpo. Da queste leggi si deduce che in ogni fenomeno elettrico sono presenti due quantità uguali ed opposte di elettricità; di modo che la somma algebrica delle quantità di elettricità si mantiene sempre costante.

A questa legge, per analogia colle leggi fondamentali della meccanica, fu dato il nome di *legge della conservazione dell'elettricità.* Ma notiamo subito che la maggior parte degli scienziati meccanicisti interpreta questa legge, nel suo significato oggettivo, in maniera profondamente diversa dalla legge della conservazione dell'energia. Leggiamo ad esempio quanto scrive, nel suo chiaro stile, il Ròiti nel suo ben noto trattato (1): « È come se si trattasse di un *quid,* il quale per essere raccolto in un punto dev'essere tolto da un altro: così che ad ogni suo eccesso corrisponde un difetto uguale. Se accogliamo questo modo di vedere, la elettricità sarebbe una sola: e i due stati elettrici corrisponderebbero ad una deficienza, o ad un accrescimento di elettricità »: le deficienza sarebbe causa dello stato negativo, l'accumulo determinerebbe lo stato positivo. Già sentiamo qualche cosa di diverso da quello di cui si parlava al proposito del calore e della luce: perchè allora non si considerava il freddo come deficienza e il caldo come accumulo di qualche cosa che potesse essere distribuito qua e là per i corpi; nè il nero si considerava come deficienza e il rosso o il verde come accumulo di una sostanza luminosa. Perciò dopo avere enunciato questo carattere

(1) Ròiti, *Elementi di fisica* (5ª ed.), vol. II, pp. 60-61.

dell'elettricità il nostro autore prosegue: « È questo uno dei requisiti della materia: o, più propriamente, è un requisito di ciascuna sostanza individuale. Da questo concetto saremmo condotti ad imaginare l'elettricità come una specie di materia, sottile sì da sfuggire alle nostre pesate quale s'imagina l'etere cosmico, e ad ogni modo profondamente diversa dalla materia ponderabile, perchè diverse sono le azioni che la governano ». Il meccanicismo che ha abbandonato l'ipotesi di un fluido materiale per il calore e per la luce, la conserva invece per l'elettricità. Vero è che il nostro autore, come se si trattasse di di concetti simili e da scambiarsi agevolmente l'uno coll'altro, aggiunge: « Potrebb'anche supporsi che l'elettricità fosse una forma di energia » poichè anche l'energia è indistruttibile; ma egli confuta quest'ipotesi dicendo che mentre l'energia si trasforma di qualità in qualità, la materia rimane sempre identica a sè stessa: e tale identità conserva appunto l'elettricità. Dunque l'elettricità è una materia.

Ma ecco che poco dopo si entra a parlare dell'energia elettrica come di una forma di energia alla pari delle altre, energia potenziale rispetto alle altre, trasformabile in movimento, in calore, in luce, e, pertanto, di natura cinetica come, secondo il meccanicismo, sono tutte le forme di energia. Vi è dunque contraddizione? Il nostro autore cerca di evitare la contraddizione distinguendo appunto, come cose diverse, l'*elettricità* dall'*energia elettrica;* ecco, nel suo vivace stile, la sua spiegazione: « È verissimo, e lo riscontriamo nei varî casi, che l'elettrizzazione richiede un lavoro, che il ritorno allo stato naturale dà origine bene spesso a calore, a luce, a decomposizioni chimiche, ad effetti meccanici. Ma si richiede un lavoro anche per attinger l'acqua dal pozzo e portarla nel serbatoio che è sul tetto; ma l'acqua, scendendo dal tetto, può produrre le più svariate manifestazioni dell'energia. E diremo noi perciò che il lavoro speso si è trasformato in acqua, e che l'acqua si è poi trasformata in calore, in energia chimica o che so io? No certamente. E se non lo diremo per l'acqua, non lo diremo neppure per l'elettricità. Dobbiamo fare un lavoro per elettrizzare un corpo; ma il nostro lavoro non si trasforma in elettricità, bensì le fa mutar di posto in guisa che essa poi è in condizioni tali da restituircelo. Il nostro lavoro si trasforma in energia potenziale che potremo chiamare, non già elettricità, ma energia elettrica ».

Con questa distinzione, sul cui valore dovremo in seguito discutere a lungo, si viene da un lato a porre i fenomeni elettrici a parte da tutti gli altri fenomeni fisici in riguardo alla loro natura oggettiva - dall'altro invece a trattarli dal punto di vista energetico alla stessa stregua di tutti i processi meccanici. Così possiamo introdurre qui i concetti di forza, di lavoro, di potenziale, di superficie equipotenziale, finchè ci occupiamo dell'energia elettrica; mentre quando si tratta dell' elettricità come di una speciale materia dobbiamo introdurre nozioni differenti da quelle di cui si serve la meccanica. Lo stesso dualismo ritroviamo passando dall' elettrostatica all' elettrodinamica; anche qui troviamo una chiara *descrizione* dell'origine della corrente elettrica, fatta in base ai principî meccanici, e una tutt'altro che chiara *spiegazione* di essa dal punto di vista metafisico. È interessante seguire questa descrizione e questa spiegazione con qualche particolare.

L'elettricità, dicemmo, si porta sempre alla superficie dei corpi: dunque essa tende a diffondersi nell' ambiente, trascinando con sè lo strato superficiale del conduttore sul quale si trova distribuita. In ciascun punto della superficie si esercita dunque una certa tensione. In meccanica per « tensione » si vuole intendere la tendenza a compiere un movimento, o anche il « movimento virtuale » di una massa, movimento che non si attua perchè vi è una forza opposta, un' uguale e contraria tendenza al movimento, un « movimento virtuale antagonistico » che neutralizza il primo movimento. Sicchè in ogni fenomeno di tensione sono presenti due forze uguali e contrarie, il cui effetto è lo stato di equilibrio; si può per altro ammettere che la massa non tanto si trovi nell' impossibilità di qualsiasi movimento, quanto piuttosto sia agitata da un movimento oscillatorio, che diventerebbe movimento traslatorio appena una delle due forze cessasse e l'altra sola si trovasse ad agire. Questo stato di movimento vibratorio dovuto all'azione simultanea di forze antagonistiche ed uguali rappresenta lo stato di *equilibrio dinamico;* tale è anche lo stato di continua agitazione in cui si trovano le molecole dei corpi e che non turba l' equilibrio complessivo del sistema. (Si noti la dipendenza di questa definizione dell' equilibrio dal principio delle velocità virtuali). Nel caso dell'elettricità ci troviamo di fronte a fenomeni analoghi: possiamo ammettere che la forza di tensione per cui l'unità di carica elettrica tende a passare fuori

della massa a cui inerisce subisca una reazione uguale e contraria per parte del mezzo circostante, e che dalla convergenza di queste due azioni antagonistiche derivi lo stato di equilibrio delle cariche elettriche qual'è considerato nell'elettrostatica; anzi, l'attrazione e la repulsione riprodurrebbero le fasi del movimento vibratorio ch'è proprio dell'equilibrio dinamico. Quando la forza della carica elettrica è così energica da superare la pressione esercitata dal mezzo esterno, può aprirsi il cammino attraverso il mezzo medesimo; « allor cessa tutto lo stato di tensione violenta che si avea, e nasce lo spostamento, ossia la corrente, si mette la massa in vibrazione e si ha il calore » (1). Ecco dunque spiegata in base ai principî della dinamica l'originarsi della corrente elettrica, il cui effetto primo è di scaldare il conduttore, ed ecco fornito il mezzo di collegare e raccogliere in un'unica classe i fenomeni del calore e dell'elettricità, riducendo gli uni e gli altri a forme particolari di processi meccanici. Come il movimento nasce dalla rottura dello stato di equilibrio, così la corrente elettrica prende origine quando non si hanno più due azioni antagonistiche uguali; come il lavoro consiste nel passaggio da un punto a un altro che ha differente potenziale, così la produzione della corrente elettrica è resa possibile da una differenza di potenziale, e l'intensità della corrente sarà tanto maggiore quanto più grande è la differenza di potenziale; infine, poichè ogni conduttore offre, data la sua natura, una certa resistenza al passaggio della corrente, tanto maggiore sarà l'intensità della corrente quanto minore è la resistenza offerta dal circuito. Questi rapporti, che hanno il loro analogo in fatti meccanici, sono riassunti nella legge di Ohm: « l'intensità della corrente costante è proporzionale direttamente alla forza elettromotrice e inversamente alla resistenza totale del circuito ». La legge della conservazione dell'energia è sempre osservata quando si produce la corrente elettrica, essendo necessario per lo sviluppo dell'energia elettrica il consumo di un'altra forma di energia, sia meccanica, sia termica, sia, più comunemente, energia chimica. Le trasformazioni inverse sono pure possibili, potendo una corrente elettrica produrre effetti meccanici col porre in movimento le macchine, effetti luminosi colla scintilla, effetti termici scaldando i conduttori, effetti

(1) Secchi, *L'unità delle forze fisiche*, vol. II, p. 49.

chimici decomponendo i corpi attraverso cui passa (dissociazione elettrolitica), infine effetti di natura speciale, che per analogia all' attrazione esercitata da alcuni corpi naturali furono detti effetti magnetici: tipici tra questi ultimi quelli che furono rivelati la prima volta dalle esperienze di Oersted (1819) sull' attrazione e repulsione dei conduttori per cui passa una corrente elettrica. Questo dal lato fenomenico, o possiamo dire energetico; ma il meccanicismo cerca di interpretare metafisicamente il fatto dell' originarsi della corrente elettrica, e a questo scopo ricorre ad una rappresentazione meccanica dell' attività dell' etere. L' etere esiste, secondo questa concezione, in tutti i corpi, penetrando tra le molecole nei loro interstizî e propagando dall' una all' altra i movimenti vibratorî da cui si origina il calore; l'elettricità statica sarebbe, come vedemmo, l' accumulo di etere che un'azione meccanica (p. e. lo strofinio) raccoglie in un punto speciale di un corpo sottraendolo ad altri punti e producendo così in quello lo stato positivo, negli altri lo stato negativo. Come si spiega allora l' originarsi della corrente elettrica? Si ammette che nell' interno dei corpi l' etere circondi ciascuna molecola quasi come un'atmosfera in continuo movimento vibratorio (l' equilibrio dinamico); quando si forma p. es. una combinazione chimica, come accade nell' interno della pila, le molecole combinantisi debbono venire a contatto, e quindi le loro atmosfere eteree vengono a confondersi in una sola; ma la nuova molecola risultante dalla combinazione non avrà bisogno di un' atmosfera di etere che sia quantitativamente la somma esatta delle due atmosfere delle molecole che si sono combinate, ma richiederà o un' atmosfera minore, in modo che vi sarà una sovrabbondanza di etere, o un' atmosfera maggiore, in modo che vi sarà deficienza di etere. Se ve ne è eccesso, il di più dovrà scaricarsi attraverso il conduttore, e, perdurando le combinazioni chimiche nella pila, darà origine alla corrente positiva; se ve ne è difetto, dovrà essere compensato mediante una corrente dell' etere in senso inverso. La combinazione chimica dunque produce uno stato di disequilibrio dell' etere nell' interno del circuito, e il disequilibrio è l' origine del movimento di esso. Intanto l' unione delle molecole rende disponibile una certa quantità di forza viva, che dà luogo ai fenomeni termici che accompagnano lo svolgimento della corrente. Ecco dunque come, in base alla concezione meccanica, si spiega la natura oggettiva dell' elet-

tricità, l'origine e lo svolgimento dei fenomeni elettrici e i legami in cui questi si trovano cogli altri fenomeni dell'universo. Nel discutere questa concezione noi criticheremo principalmente questi due punti: 1° la distinzione dell'elettricità dall'energia elettrica e la conseguente sostantivazione dell'elettricità nel fluido etere; 2° la riduzione dell'energia elettrica ad energia cinetica. Incominciamo dal primo.

1.° Uno dei fatti più bisognosi di spiegazione è la distinzione polare dei due stati elettrici positivo e negativo. È spiegata convenientemente tale distinzione coll'ipotesi di un fluido che accumulato in alcuni punti vi genera lo stato positivo, e tolto da altri vi lascia lo stato negativo? Già questa è una rappresentazione assai grossolana del fenomeno, derivante dalle abitudini mentali dei meccanicisti che hanno bisogno di tradurre tutti i fenomeni in mutamenti di masse nello spazio; ipostatizza in una *sostanza* specifica quello che è un semplice *stato* dei corpi, moltiplicando - si direbbe in filosofia scolastica - gli enti senza ragione. La similitudine tra il lavoro speso per alzare un peso e il lavoro di elettrizzazione può esser fatta, ma in un senso diverso da quello con cui la fanno i meccanicisti, e con maggiore semplicità: nel primo caso, infatti, abbiamo un *corpo* - p. es. l'acqua alzata dal pozzo - il quale, in seguito al consumo di un certo *lavoro* - l'azione del sollevamento - acquista una certa *energia potenziale* - che in questo caso sarebbe energia di gravità; e nel secondo caso? Abbiamo anche qui *corpo* - p. es. del vetro, dell'ambra ecc. - che in seguito alla spesa di un certo *lavoro* - lo strofinìo - acquista una certa *energia potenziale* - l'energia elettrica. Nel primo caso non abbiamo affatto supposto che il lavoro serva ad accumulare nel corpo una sostanza speciale che sia il substrato dell'energia di gravità! Perchè allora nel secondo caso dovremmo ammettere un fluido speciale a cui l'energia elettrica inerisca? Dice il Ròiti: il lavoro compiuto per sollevare l'acqua non si trasforma nell'acqua, ma questa permane attraverso le variazioni delle sue condizioni energetiche; verissimo: e così, aggiungiamo noi, lo strofinio non si trasforma nel vetro o nell'ambra o in quell'altro qualsiasi corpo che, in date condizioni, acquista, e può in seguito anche perdere, lo stato elettrico, pur rimanendo, esso, sempre lo stesso corpo.

Di qui si vede che la legge della conservazione dell'elettricità, nella forma in cui è stata enunciata, non ha in fondo

alcun significato; perchè il dire che quando un corpo non presenta nessuno stato elettrico non è già privo di elettricità, ma la possiede allo stato latente come elettricità positiva ed elettricità negativa in uguali quantità che si neutralizzano, è, per usare un' espressione in altro caso adoperata dal MACH, una « libertà di ragionamento » analoga a quella con cui BLACK diceva che il calore, quando scompare, diviene latente e si conserva come un fluido calorifico speciale. Quello che si conserva è la quantità di energia in generale, non la forma dell' energia elettrica che si trasforma come tutte le forme di energia, e tanto meno un supposto fluido che ne sia il substrato.

L'elettrizzazione per influenza offre altre difficoltà ancora alla teoria del fluido elettrico. Infatti il corpo influenzante non perde nulla della sua attività elettrica per il fatto di averla trasmessa ad un altro corpo. Se l'elettricità fosse un fluido conservantesi sempre identico a sè stesso, come avverrebbe questa trasmissione specialissima che non diminuisce affatto l'energia del corpo che cede? La supposta legge di conservazione verrebbe subito violata. Ancora: perchè, nell'ipotesi del fluido, l'elettricità dovrebbe stare soltanto alla superficie dei corpi e non diffondersi nell'interno? eppure l'etere avvolgerebbe non soltanto le molecole dello strato superficiale, ma anche quelle dell'interno. E anche concesso, senza spiegarlo, che soltanto l'etere diffuso sulla superficie dei corpi sia capace di assumere lo stato elettrico, perchè l'asportazione di un pezzo, anche piccolissimo, di un corpo dovrebbe portarne via tutto il fluido elettrico? Coll'ipotesi del fluido tutti questi fenomeni restano senza alcuna spiegazione.

Gli stessi fenomeni dell' attrazione e della repulsione non sono spiegati dall' ipotesi del fluido. Come si spiega che un corpo elettrizzato positivamente abbia sentore della negatività di un altro corpo vicino, tanto da essere determinato a trasmettergli una porzione del suo fluido prendendo contatto con lui? L'attrazione degli stati contrarî non è affatto chiarita; meno ancora lo è la repulsione degli stati omonimi: quando si avvicinano due corpi elettrizzati positivamente, ossia, secondo la teoria del fluido, aventi ambedue un accumulo di etere, dovrebbero rimanere indifferenti; invece tendono ad allontanarsi: d'onde ha origine la repulsione tra due accumuli uguali di etere? E qui aggiungeremmo le difficoltà intrinseche alla concezione dell'etere (come si può parlare di concentrazione e di accumulo

in un fluido perfettamente elastico ed omogeneo? a chi ineriscono le forze, se il fluido è continuo? e se è di struttura atomica, come ha luogo quell'azione a distanza, tra gli atomi di etere, che non si voleva riconoscere tra gli elementi della materia ponderabile?), se non ne avessimo già parlato al proposito della forza di gravità.

Infine un altro ostacolo incontra la distinzione dell'elettricità dall'energia elettrica: con questa ipotesi bisognerebbe ammettere non soltanto la conservazione dell'elettricità come sostanza, ma anche - e ciò è impossibile - della forma dell'energia elettrica: perchè che cosa diventerebbe il fluido elettrico quando l'energia ad esso inerente si trasformasse in un'altra energia di cui quel fluido non potesse assolutamente essere il sostegno, p. es. nell'energia di moto delle masse visibili? Si potrebbe rispondere che l'energia elettrica consiste nella particolare attività che possiede l'etere quando, in condizioni speciali, subisce quelle modificazioni che a noi si manifestano con la formazione di un campo elettrico o magnetico. Ma prima di tutto bisognerebbe spiegare l'origine di queste modificazioni dell'etere: quali proprietà danno modo alla calamita di circondarsi di un campo magnetico, alla corrente di circondarsi di un campo elettrico? non certo le proprietà meccaniche, perchè le modificazioni dell'etere non trovano alcun riscontro nelle azioni meccaniche; e se invece si tratta di proprietà speciali, o di peculiari capacità di alterare l'etere in quel dato modo, non siamo lontani dallo spiegare i fenomeni per mezzo delle virtù occulte alla maniera degli scolastici. In secondo luogo, rimane sempre la difficoltà d'indicare come sia possibile una tale modificazione in un mezzo che per altre ragioni è necessario concepire come perfettamente elastico, incompressibile, di uguale densità ecc.

Concludendo, possiamo dire che la distinzione affermata dal meccanicismo tra elettricità ed energia elettrica non ha ragion d'essere; che l'ipotesi di un fluido speciale come permanente substrato dell'energia elettrica non spiega i più importanti fenomeni e non può accordarsi coll'esperienza se non a costo di concedersi delle libertà di ragionamento che saranno comode per sostenere certe teorie, ma che non rispondono alle esigenze della logica; che infine i concetti energetici sono sufficienti ad una esatta descrizione e trattazione quantitativa dei fenomeni elettrici.

E così siamo giunti alla discussione del secondo punto: è possibile la riduzione dell'energia elettrica ad energia cinetica, come il meccanicismo vuole?

2.° Quando abbiamo enumerati, sul principio, quei fatti che distinguono i fenomeni elettrici dagli altri fenomeni fisici, il nostro pensiero era di mostrare l'irriducibilità dei processi elettrici agli altri e soprattutto ai processi meccanici. In realtà, che cosa si può trovare nella meccanica di analogo ai fenomeni dell'attrazione e della repulsione, alla distinzione polare dei due stati elettrici (come derivarla dalle leggi del movimento e delle forze meccaniche?), all'induzione elettrostatica, infine al fatto che lo stato elettrico affetta la sola superficie del corpo? Inoltre la tensione elettrica indica l'esistenza di una forza tutta speciale, di cui si può misurare l'intensità, ma che non si può ridurre ad altre forze della natura. Tutti i concetti dell'energetica - quantità di energia, lavoro, potenziale ecc. - possono, è vero, essere applicati all'energia elettrica; ma ciò non dice nulla della natura di questa forma di energia, non permette di assimilarla all'energia cinetica più che all'energia termica o alla raggiante; essi si applicano a ciò che alle diverse forme di energia è comune (la possibilità di misura), non a ciò che le differenzia (la qualità).

Ma se l'elettrostatica serve già a individuare la classe di fenomeni di cui ci occupiamo, l'elettrodinamica e l'elettromagnetismo danno la dimostrazione più evidente dell'impossibilità di ridurre l'energia elettrica e magnetica all'energia cinetica. Mentre l'energia totale di un sistema meccanico viene determinata da due elementi, l'energia cinetica delle parti del sistema (forza viva) e l'energia interna (potenziale), per determinare l'energia totale di un sistema attraversato dalla corrente elettrica è necessario aggiungere un altro fattore. A questo nuovo fattore, irriducibile agli altri, specifico di tali sistemi, fu dato il nome di « energia elettrocinetica »; soltanto tenendo conto di questo nuovo elemento è possibile sottoporre a calcolo i fenomeni elettrodinamici ed elettromagnetici (1). Le analogie che alcuno potrebbe stabilire, con evidente artificio, tra fenomeni elettrici e meccanici, non approderebbero infine a nessun risultato utile, visto che i termini energetici sono sufficienti a raggiungere gli scopi che la scienza si propone.

---

(1) Duhem, *L'évolution de la mécanique* (Paris, Hermann, 1905), pp. 328 sgg.

Così, senza annettere nessun valore alle grossolane rappresentazioni meccaniche dell' origine della corrente elettrica, senza ricorrere all' ipotesi di un fluido che cammini entro il conduttore quando in un punto ce n' è troppo e in un altro fa difetto, basta riconoscere che alla produzione della corrente elettrica, come allo sviluppo di ogni forma di energia, è necessaria una differenza di potenziale. Lo chiameremo potenziale dinamico trattando del movimento - potenziale termodinamico trattando del calore - potenziale elettrodinamico trattando dell'elettricità: concetto codesto che si applica a tutte le forme di energia, senza implicare ipotesi dal punto di vista oggettivo. Le ipotesi potranno esser fatte, ma tenendo conto non solo dei fatti elettrici, ma di tutti i fenomeni della natura.

Come si sarà notato, ad ammettere l'irriducibilità dell'energia elettrica e magnetica alle altre forme di energia non siamo giunti collo stesso procedimento che ci aveva guidato prima, col ricercare cioè i casi d'irreversibilità nei processi di trasformazione delle energie. Tuttavia possiamo estendere lo stesso metodo all' energia elettrica e magnetica, e ciò per due ragioni: 1° per il fatto della dispersione dell'elettricità nell'atmosfera, che impedisce la completa utilizzazione dell'energia elettrica, proprio come la dispersione del calore impedisce la completa utilizzazione dell'energia termica; in ogni trasformazione di energia elettrica in altra forma di energia rimane sempre una quantità di energia elettrica che non si trasforma e si disperde. 2° per il fenomeno importantissimo dell' « isteresi magnetica »: un pezzo di ferro sottoposto ad azione magnetica prolungata conserva le proprietà magnetiche assai tempo dopo che l'azione influenzante è cessata. Si ha qui un esempio di un' « alterazione permanente », come dice il Duhem, cioè di una modificazione irreversibile; il fenomeno si estende alla polarizzazione dei corpi dielettrici (isteresi dielettrica) ed ha importanza nello studio delle correnti alternate. Le spiegazioni meccanicistiche di questo fenomeno non approdano a nulla; si è pensato p. es. che le molecole del ferro siano già di per sè delle calamite, fornite degli stati elettrici positivo e negativo ai loro due poli, ma rivolte disordinatamente da tutte le parti finchè il corpo non subisce azioni magnetiche dal di fuori; quando sono sottoposte all' influenza di un magnete, tutte le molecole si rivolgerebbero da una stessa parte, proprio come si osserva nei tropismi di certi protozoi; dopo di che, anche sottratte all' azione del magnete, pro-

verebbero una certa fatica a ritornare nella disordinata posizione primitiva, e in ciò starebbe il fenomeno dell'isteresi. Questa è una delle solite pseudo-spiegazioni consistenti in una grossolana rappresentazione in simboli spaziali di processi fisici ben più complicati; soffre anche di un certo antropomorfismo; nè ha il vantaggio di ridurre questo fenomeno ad altri meglio conosciuti, perchè presuppone nelle molecole la proprietà da spiegare, considerandole come altrettante calamite, e fallisce perciò al suo scopo. Noi dobbiamo contentarci di riconoscere qui un caso d'irreversibilità, assimilabile come tale agli altri che abbiamo già incontrato parlando del calore e della luce, e ad altri ancora che potremmo citare (p. es. la deformazione dei corpi elastici, che diventa permanente dopo ripetute alterazioni della forma del corpo).

Tuttavia sono molto più facili le trasformazioni dell'energia elettrica in altre forme di energia, che le trasformazioni inverse di calore, luce ecc. in elettricità; per questo rispetto l'energia elettrica si comporta come l'energia meccanica, insieme colla quale andrà classificata tra le forme superiori di energia; del che parleremo più oltre. Intanto si tenga per fermo che, in un senso o nel senso inverso, la legge dell'irreversibilità anche per l'energia elettrica non subisce eccezioni.

Forma superiore di energia è anche l'energia chimica o forza di affinità, l'ultima di cui dobbiamo far cenno. Sia che si accetti, sia che si respinga la teoria atomica, rimane indubitato che le molecole dei corpi (tanto degli elementi quanto delle combinazioni) posseggono una certa energia potenziale, energia propria dell'organismo molecolare, capace di essere sviluppata dando origine a forme di energia differenti. Anche l'affinità, come l'elettricità, non si rivela ai nostri sensi mediante qualità sensoriali speciali; anzi, non si rivela alla percezione in nessun modo, neppur con qualità sensoriali corrispondenti ad altre forme di energia; ciò non ostante ci sono moltissimi motivi per ammetterne l'esistenza. Vi è anzitutto l'esigenza del principio di conservazione, il quale sarebbe violato se si ammettesse che il calore sviluppato durante un processo chimico nasce dal nulla anzichè essere una semplice trasformazione dell'energia potenziale chimica già accumulata nei corpi partecipanti alla combinazione. Vi sono poi dei caratteri specifici di questa forma di energia: non tutti i corpi infatti

posseggono in ugual grado e in uguale forma l'energia di combinazione; poichè ciascun corpo può combinarsi solo con alcuni determinati corpi, si può dire che l'energia di combinazione si specifichi, s'individui per quanti sono i corpi tra cui reazioni chimiche possono intervenire. Questo fatto importantissimo fu enunciato dicendo che l'« affinità è elettiva »; per spiegarlo furono tentate varie riduzioni dell'energia chimica ad altre forme di energia, ma i tentativi andarono, a nostro credere, tutti falliti. Prescindendo da alcune puerili rappresentazioni degli atomisti del seicento, i quali s'imaginavano gli atomi come uncinati ed attribuivano le diverse capacità di aggruppamento degli atomi alla forma degli uncini onde erano incatenati, i tentativi più importanti di riduzione dell'energia chimica ad altre forme di energia sono tre, e sono, sommariamente accennati, i seguenti.

1. Poco diremo del tentativo dei newtoniani di assimilare la forza di affinità alla forza di gravità; essi stessi doverono riconoscere che l'affinità è immensamente più intensa della gravità; e poichè l'intensità di quest'ultima è costante, una forza avente intensità diversa non può identificarlesi. Ma poi, la gravità non è affatto « elettiva » come l'affinità: nulla può sottrarsi alla gravità; questo carattere impedisce definitivamente la riduzione tentata dai newtoniani.

2. Una delle più importanti ipotesi sulla natura dell'affinità è senza dubbio quella che fu enunciata dal Berzélius (1810), precursore, per diversi rispetti, del moderno energetismo anche per la sua opposizione alla teoria atomica. Gli atomi dei corpi semplici, e i radicali che nelle combinazioni si comportano come atomi, possono essere ripartiti in due grandi classi, all'una delle quali appartengono p. es. l'idrogeno, i metalli, alcuni radicali come NH_4 ecc., all'altra appartengono gli alogeni, gli altri metalloidi, alcuni radicali come OH, SO_4 ecc. Ora, mentre tra gli elementi di ciascuna di queste due classi non si manifesta nessuna affinità, essa si manifesta in grado maggiore o minore tra gli elementi dell'una classe e gli elementi dell'altra; p. es. due metalli non si combinano tra loro, mentre un metallo può combinarsi con un metalloide. Quest'opposizione, che forma un « contrasto polare », un contrasto cioè simile a quello che si osserva tra corpi elettrizzati positivamente e corpi elettrizzati negativamente, fu ritenuta dal Berzélius indizio di una dualità nell'affinità: gli elementi e i radicali di una classe si comporterebbero

come se possedessero una carica elettrica positiva, quelli dell'altra classe come se possedessero una carica elettrica negativa: l'affinità si eserciterebbe tra corpi aventi cariche elettriche di segno contrario, non tra corpi aventi cariche elettriche omonime.

Così enunciata, la teoria elettrochimica del Berzélius andava incontro a molte difficoltà. Fondata tutta sopra un supposto contrasto polare nel comportamento dei corpi semplici e dei radicali su accennati, era smentita dalle limitazioni che davano a codesto contrasto un valore molto approssimativo, e soprattutto dal comportamento del carbonio. Come spiegare il fatto che il carbonio può esaurire su sè stesso la propria forza di affinità? Si contano molecole in cui un atomo di carbonio si salda con altri atomi di carbonio: nell'ipotesi elettrochimica questa combinazione non dovrebbe essere possibile, perchè atomi di uno stesso elemento dovrebbero essere o tutti positivi o tutti negativi. Non solo, ma il carbonio può combinarsi con uguale energia tanto con elementi valutati per elettropositivi (p. es. l'idrogeno), quanto con elementi valutati per elettronegativi (p. es. il cloro): evidentemente il reciso contrasto polare richiesto dalla teoria elettrochimica non esiste.

Recentemente per altro gli scienziati che seguono le idee dinamistiche hanno ripresa la teoria dualistica del Berzélius sotto forma assai diversa: fondandosi sui fenomeni dell'elettrolisi, sono giunti a stabilire un contrasto polare nelle particelle ultime della materia, le quali hanno soltanto cambiato nome quando invece di atomi vengono chiamate elettroni; ma poichè questa concezione dualistica si collega con le ipotesi sulla costituzione della materia, ne parleremo discutendo questo argomento.

3. Infine accenniamo al tentativo di ridurre l'affinità al movimento, sebbene esso sia fallito e non abbia grande importanza. Si è detto che ciascun atomo possiede una forma speciale di movimento, e che quando due atomi eterogenei entrano in una sfera di azione reciproca, se i loro movimenti si coordinano, se, per così dire, vibrano all' unisono, possono unirsi nelle combinazioni, se invece sono così diversi da non potersi coordinare, non si combinano. Questa rappresentazione parte già da un concetto, che noi crediamo sbagliato, della combinazione (come semplice aggregato dei componenti), come mostreremo in altra parte del presente lavoro; poi la riduzione della

affinità a movimento è solo illusoria, perchè rimane da spiegare in che consista e in che abbia la sua ragione quella forma speciale del movimento di ciascun atomo; se si dice che essa ha il suo fondamento nella natura speciale dell'atomo, si riintroduce il fattore qualitativo che si voleva eliminare - e allora tanto vale ammettere l'affinità come una forma speciale di energia, senza ricorrere ad artificiosi modelli meccanici.

Così tutti i tentativi fatti dal meccanicismo per ridurre l'energia chimica ad altre forme di energia sono falliti; la scienza ha dovuto assumere l'affinità come un presupposto ineliminabile dei processi chimici ed ha dovuto limitare lo studio al modo di agire dell'energia chimica e alle sue relazioni colle altre forme di energia. Ora anche lo studio di queste relazioni conferma la differenza qualitativa tra l'energia chimica e le altre forme di energia. Anzitutto, l'energia chimica non si può trasformare direttamente e immediatamente in energia di moto visibile; anche se, come alcuni credono, si riuscisse in avvenire, con mezzi tecnici ora affatto ignoti, ad ottenere tale trasformazione (1), il fatto che nei processi naturali è impossibile basta a porre una differenza ineliminabile tra le due forme di energia. È anche impossibile una trasformazione immediata e diretta dell'energia chimica in energia luminosa, e ciò basta a stabilire una differenza qualitativa tra queste due forme, sebbene la trasformazione inversa sia possibile direttamente (così in tutte le azioni fotochimiche, tra cui principalissima l'azione clorofilliana nelle piante). La trasformazione diretta della forza di affinità può dunque avvenire soltanto nelle altre due forme di energia, termica ed elettrica. Dall'energia termica l'affinità chimica si distingue subito per la legge dell'irreversibilità, giacchè se è possibile la trasformazione completa dell'energia chimica in calore, la trasformazione inversa è limitata nella stessa guisa che la trasformazione di calore in energia meccanica. Sembrerebbe che si comportasse invece eccezionalmente l'energia elettrica, perchè le trasformazioni si compiono con essa indifferentemente tanto nell'un senso che nell'altro; ma la legge dell'irreversibilità è osservata anche in questo caso, perchè la trasformazione è sempre accompagnata

(1) Per l'Otswald è l'ideale dell'industria futura: « *Das grosse technische Problem der Zukunft ist die unmittelbare Gewinnung der mechanischen Energie aus der chemischen* » (*Vorlesungen über Naturp'ilosophie*, p. 235).

da altre mutazioni energetiche: una parte dell'energia chimica o dell'energia elettrica si trasforma in calore, in modo che la trasformazione completa dell'una nell'altra è impossibile. Il comportamento eccezionale consiste in questo: che, nel processo di trasformazione, è possibile la scomparsa *completa* di una delle due forme di energia - mentre nella trasformazione del calore in lavoro meccanico vi è una parte di calore che non può essere trasformata; perciò possiamo dire che l'energia chimica e l'energia elettrica, ed anche l'energia meccanica, sono *qualitativamente equivalenti,* ma non *identiche,* non riducibili ad uno stesso tipo.

Ma vi è un ultimo carattere differenziale della massima importanza: dalle variazioni dell'energia chimica sono determinate tutte le trasformazioni della materia, la formazione dei composti e la loro decomposizione, mentre nessuna delle altre forme di energia connette necessariamente le sue variazioni a trasformazioni della materia. Ogni volta che più elementi si uniscono per dare origine ad una combinazione, o che da un composto si riottengono gli elementi che lo componevano, si ha un'alterazione delle condizioni di affinità dei corpi partecipanti al processo chimico. Come ci si accorge di questa alterazione, se l'energia chimica per sè non è percettibile nè direttamente misurabile? Questa domanda mette capo ad un problema oggi di somma importanza, quello della *misura dell'affinità,* così importante che al principio su cui è fondata un illustre fisico tedesco, il Nernst, ha dato un valore uguale a quello dei due principî capitali della termodinamica.

Poichè, in fondo, l'energia chimica è, per quanto abbiamo detto, l'energia accumulata nella materia, sia negli elementi che nelle combinazioni, il problema della misura dell'affinità diventa il problema della quantità di energia racchiusa nella materia, problema di importanza scientifica e filosofica straordinaria. Non essendo percettibile nè misurabile per sè stessa, la energia chimica può essere misurata solo valutando le forme di energia in cui si trasforma, ossia il calore o l'elettricità; la forma in cui più comunemente si trasforma è l'energia termica, giacchè in ogni processo chimico vi è sviluppo o assorbimento di calore. Se non che, l'effetto termico (chiamando così lo sviluppo o assorbimento di calore originato in una reazione chimica) potrebbe essere senz'altro la misura della forza di affinità da cui è stato prodotto, se fosse indipendente dalle condi-

zioni esterne in cui la reazione si svolge; invece l'esperienza dimostra che l'effetto termico dipende strettamente dalla temperatura, in questo senso, che mentre a certe temperature (basse) la reazione (combinazione) tra certe sostanze avviene producendo sviluppo di calore, ad altre temperature (alte) la reazione (decomposizione) tra le medesime sostanze avviene con assorbimento di calore. Soltanto nel caso-limite dello zero assoluto, essendo impossibili reazioni endotermiche, l'affinità e l'effetto termico diventano uguali, e uguali a zero (1). Si potrebbe dire, che soltanto raffreddando un corpo allo zero assoluto si otterrebbe la completa trasformazione della sua energia chimica in calore, o, secondo l'espressione del NERNST, si potrebbe estrarre completamente il calore contenuto in un corpo (2); solo in questo caso, anche, l'entropia si annullerebbe. Ma questo è un caso-limite; è impossibile raffreddare un corpo fino allo zero assoluto, e perciò vi sarà sempre una quantità di energia chimica non trasformabile in calore.

Dal punto di vista filosofico l'importanza di questo principio nasce dal fatto che l'energia posseduta da un sistema materiale è una quantità finita; ed essendo l'universo un sistema materiale, e non essendo possibile l'esistenza di energia isolata dagli agenti a cui inerisce e che ne sono il sostegno, si può dire che l'energia dell'universo è una quantità finita. Allora l'impossibilità di utilizzare completamente l'energia contenuta negli agenti naturali si armonizza coll'impossibilità di ottenere processi fisici completamente reversibili e l'una e l'altra indicano che le trasformazioni nell'universo

---

(1) Per chiarimento, riferiamo l'espressione matematica di questo principio. Chiamando A l'affinità, U l'effetto termico, T la temperatura assoluta, pel 2° principio della termodinamica si ha: $AU = T\frac{dA}{dT}$. Secondo il BERTHELOT, l'effetto termico sarebbe *sempre* indipendente dalla temperatura, e quindi $\frac{dA}{dT}$ sarebbe *sempre* nullo; onde si avrebbe: $A = U$, ossia che l'affinità sarebbe misurata dall'effetto termico. Invece l'esperienza dimostra che soltanto allo zero assoluto si ha l'indipendenza suddetta, e quindi si può porre:

$$\lim \frac{dA}{dT} = 0 \text{ per } T = 0.$$

Si noti che $\frac{dA}{dT}$ è la formula dell'entropia; così si vede come, secondo questo principio, allo zero assoluto l'entropia è nulla. V. NERNST, *Traité de chimie générale* (trad. franc.), vol. II, pp. 290-97.

(2) NERNST, *Sur la récente évolution de la thermodynamique* (in *Revue Scientifique*, 21 juin 1913, pp. 769-777).

avvengono sempre in una data direzione, rivolte verso una mèta. Perciò noi, pur riconoscendo che questa legge relativa all'affinità mette in luce un aspetto nuovo dei fenomeni naturali, più che considerarla come un terzo principio della termodinamica la considereremo come un ulteriore svolgimento del secondo principio, fecondissimo nelle sue conseguenze scientifiche e filosofiche, forse non ancora tutte venute in luce.

Ripercorrendo ora le tappe principali della nostra analisi, vediamo che sulla base dei dati dell'esperienza abbiamo dovuto riconoscere l'esistenza di sei forme di energia qualitativamente differenti e irriducibili ad un tipo unico: della prima, col nome di forza di gravità - o, come oggi da alcuni si propone di dire, di energia gravifica - abbiamo parlato nel capitolo precedente; in questo abbiamo passate in rassegna le altre cinque: l'energia cinetica, termica, raggiante, elettrica, chimica. Sorgerà ora spontanea una domanda: esistono altre forme di energia oltre a queste sei? E forse prima di tutto ci si obietterà che con queste sei il mondo delle nostre qualità sensoriali non è affatto completo, perchè - anche concesso che odori e sapori siano manifestazioni soggettive di reazioni chimiche - tutto il mondo delle sensazioni uditive rimane escluso. Ebbene, noi che nell'ammettere le diverse forme irriducibili dell'energia *non* ci siamo mai lasciati guidare dall'osservazione delle qualità sensoriali, non crediamo di avere errato se alle sensazioni uditive non abbiamo fatto corrispondere una forma di energia speciale. Troppo strettamente legati appaiono i fenomeni uditivi con alcuni processi meccanici (i movimenti vibratorî delle masse visibili), perchè si possa scindere dall'energia cinetica una presunta « energia sonora »; l'energia del moto vibratorio può essere benissimo stimolo del nostro organo uditivo. Così mentre si parla di trasformazione di lavoro in calore, nessuno parlerebbe di trasformazione di lavoro in suono; il suono non è un fatto così autonomo che possa avere radice in una forma peculiare di azione degli agenti esterni. Si badi per altro che questo non va inteso nel senso in cui il meccanicismo dice che « il suono è movimento »: perchè il movimento è un dato della percezione che non ha nulla a che fare colla qualità sensoriale del suono; le due serie delle sensazioni di movimento e delle sensazioni di suono si svolgono parallele e contemporanee (mentre lavoro e calore si svolgono successivamente, essendo necessario

il consumo del primo per ottenere il secondo), come due modi di apparire al soggetto di una medesima azione. Se dunque il suono è manifestazione di un'energia cinetica, non apparirà strano che la teoria meccanica del suono sia riuscita più completa e perfetta di qualsiasi altra; nessuno ha mai discusso sulla correlazione tra sensazioni uditive e movimenti vibratorî visibili; solo che nè si doveva dedurne che il movimento è ciò che vi è di oggettivo nel fatto del suono, nè poi si doveva pretendere di assumere la teoria meccanica del suono come modello per costruire delle teorie meccaniche là dove si avevano forme di energia irriducibili all'energia cinetica.

Sicchè il mondo delle nostre qualità sensoriali ha la sua base nelle sei forme di energia che abbiamo enumerate. Naturalmente, non vogliamo dire che queste esauriscano la natura dell'universo (quante altre potrebbero esistere senza che a noi si rivelassero affatto?), e nemmeno possiamo dire se altre forme di energia dovranno, col progredire della scienza, essere ammesse per spiegare i fenomeni fisici che conosciamo. Lo stato attuale delle cognizioni scientifiche dimostra bene la provvisorietà di questa enumerazione; perchè le ricerche sinora fatte sulla natura dei raggi catodici delle radiazioni di Röntgen non sono ancora sufficienti per guidarci a delle conclusioni abbastanza sicure. Certo è che il comportamento di queste radiazioni è diverso da quello di tutte le altre; non si riflettono, non si rifrangono, non si polarizzano; posseggono poi un'attività chimica diversa da quella dei raggi luminosi e perciò non si possono identificare con questi; non deviabili da un campo elettrico o magnetico, sembrano irriducibili alle oscillazioni elettro-magnetiche. In ogni modo, non potendoci oggi pronunciare con sicurezza, attendiamo che la scienza futura ci dica se ci troviamo in presenza di una nuova qualità di energia o se l'apparenza d'irriducibilità dipenda dalle troppo scarse conoscenze che attualmente ne abbiamo.

La conclusione a cui siamo giunti avrà forse lo svantaggio estetico di spezzare l'unità delle forze fisiche; ma non sarà male accettare questo svantaggio se la concezione che se ne ricava si accorda meglio coi dati dell'esperienza. Accanto alla « legge di conservazione », che abbiamo visto essere limitata al solo aspetto quantitativo della natura, abbiamo veduto sorgere un'altra legge, la « legge dell'irreversibilità », che mentre ci è stata di guida sicura per riconoscere l'esistenza di differenze qualitative

tra le energie, ci spiega anche il senso in cui si compiono le trasformazioni delle energie, la direzione non invertibile dei cangiamenti. Le sei forme di energia potrebbero essere classificate, in base alla legge dell'irreversibilità, in due categorie, considerando come forme superiori quelle che posseggono maggiore capacità di trasformazione (e sono la gravità, l'energia cinetica, elettrica e chimica) e come forme inferiori quelle la cui possibilità di trasformazione è più limitata (l'energia termica e l'energia raggiante). I cangiamenti dell'universo si compiono nel senso del passaggio dalle forme superiori alle forme inferiori; le prime sono destinate a scomparire, tendendo tutte a trasformarsi e a livellarsi nella forma più degradata di tutte, il calore. Perciò la legge dell'irreversibilità fu chiamata anche « legge di degradazione »; ma forse è nome più adatto quello scelto dal Perrin di « legge d'evoluzione » (1), essendovi incluso il concetto fondamentale del passaggio per una serie di stadî successivi senza la possibilità di ritornare agli stadî una volta attraversati. Limitandoci per ora a constatare l'esistenza di questa legge di capitale importanza, ci riserbiamo di trarne altrove le conclusioni che hanno il maggiore interesse per una concezione filosofica della natura.

Legge, questa dell'irreversibilità, estesa a *tutti* i fenomeni della natura senza eccezione. Legge, come dicemmo più volte, in contrasto col concetto fondamentale della meccanica, con quello della possibilità d'invertire il senso delle forze solo mutando segno ai parametri del tempo e dello spazio. Dunque, contro al meccanicismo che aveva affermato *tutti i fenomeni naturali essere fenomeni meccanici*, noi siamo in grado di affermare senza timore che *nessun fenomeno naturale è fenomeno puramente meccanico:* anche nei più semplici ed elementari processi fisici, come p. es. l'urto di due masse elastiche, la caduta di un grave, il cammino di un proiettile, insieme al processo di movimento si compiono tante alterazioni nelle condizioni energetiche (sviluppo di calore, modificazioni nello stato elettrico ecc.) da non poter considerare il fenomeno nel suo complesso come un fenomeno puramente meccanico; il caso del processo puramente meccanico è un caso limite, il cui raggiungimento richiederebbe condizioni che nella realtà non si possono mai verificare.

(1) « Le second principe affirme un ordre nécessaire dans la succession de ces deux phénomènes sans retour possible aux états déjà traversés. C'est pourquoi j'ai cru expressif d'appeler ce principe un *principe d'évolution* ». Perrin, *Traité de chimie-physique*, p. 143.

V. — La dottrina energetica e la fisica delle qualità.

Il grande sviluppo della termodinamica nell' ultimo cinquantennio e le difficoltà incontrate dal meccanicismo fecero sorgere una dottrina che ha avuto ed ha tuttora molta diffusione tra gli scienziati: la *dottrina energetica.*

Il primo contributo a questa dottrina fu dato dal Rankine in uno scritto (1853) le cui idee principali sono rimaste nell'energetismo posteriore. Suo concetto è che nello studio dei fenomeni fisici ci si debba limitare a cercare ciò che è comune a tutti, ciò che ne forma lo sfondo comune, che ne è l' « invariante universale »; e questo è la « quantità di energia », che permane costante in ogni trasformazione. Compito della scienza della natura esterna non è di ridurre le varie specie di energia ad un unico tipo, ma di stabilire le leggi delle loro variazioni. Queste idee sono state accettate dagli energetisti moderni; tuttavia il Rankine non credeva che la « scienza dell'energetica », come la chiamava, fosse in contraddizione col meccanicismo, anzi credeva che in ultima analisi le diverse forme di energia potessero ridursi all'unica energia meccanica, sebbene la scienza non dovesse occuparsi se non di una trattazione puramente energetica dei fenomeni. Invece le leggi della termodinamica impediscono la riduzione delle diverse energie all'energia cinetica; per questo il più noto rappresentante contemporaneo dell'energetismo, l' Ostwald, respinge il Rankine dal numero dei suoi precursori e dichiara di collegare l'opera sua a quella di Giulio Roberto Mayer. Qual' è la concezione filosofica e scientifica dell' Ostwald?

Il metodo generale della scienza, afferma l' Ostwald, consiste nel riferire il simile al simile e nel cercare ciò che è comune ad una molteplicità di fenomeni; in tal modo dalla semplice costatazione del « rapporto » assurgiamo alla formazione di un « sistema » e dal sistema giungiamo alla formulazione delle « leggi di natura », la cui più alta forma serve come « concetto universale ». Ora, i fatti che osserviamo nel mondo fenomenico sono sempre particolari attuazioni di leggi generali della natura, le quali, per sè prese, rappresentano più una possibilità che una realtà; lo scopo della scienza sta nella determinazione dei casi reali in mezzo ai casi possibili, e in questo modo essa viene a mettere in luce ciò che vi è di comune

a tutti i fenomeni, ciò che costituisce l'« invariante universale », cioè quella grandezza che rimane inalterata anche quando variino tutte le altre determinazioni. Tutto lo sviluppo della scienza mira alla scoperta e all'elaborazione di questo concetto universale. Ma per giungere a questa mèta si possono seguire due vie: o si ammette, senza poterlo dimostrare, che esista una realtà oggettiva che permane inalterata durante i cangiamenti, e quindi si formulano delle ipotesi sulla natura di questa realtà; oppure ci si può limitare allo studio del mondo fenomenico cercando ciò che l'esperienza ci mostra di permanente, senza oltrepassarla con ipotesi arbitrarie. Il primo procedimento è stato seguìto dal meccanicismo o « materialismo scientifico », che, partitosi dal dato sperimentale dell'esistenza di una grandezza - la massa - che si conserva costante in ogni processo, ha considerata questa grandezza come una realtà per sè stante; e siccome, poi, il concetto di massa era troppo povero per fornire una spiegazione di tutti i fenomeni, dovè ampliarlo aggiungendovi alcune proprietà che l'esperienza ci mostra più strettamente connesse colla massa, come il peso, l'estensione, la divisibilità, la forma, l'inerzia, ecc., per ricavare dalle variazioni quantitative di queste tutte le proprietà fisiche più importanti: così la « legge fisica » della conservazione della massa divenne l' « ipotesi metafisica » della conservazione della materia. Il valore di questa concezione metempirica appare tanto più scarso quando si pensa che tutta la conoscenza che noi abbiamo della materia è conoscenza delle sue proprietà, e che quindi è assurdo il porre nel fondo della realtà una materia sfornita di quelle proprietà per cui solo noi la conosciamo (1).

Per evitare queste conseguenze assurde, l'Ostwald si propone di seguire la seconda via: prendere le mosse dall'esperienza e, senza oltrepassarla, assumere come invariante universale ciò che il mondo fenomenico ci mostra d'invariante. Ora, alle due domande: che cosa è che permane costante nell'universo attraverso tutti i cangiamenti? e: in che consistono le differenze tra le cose? la risposta è data da una sola parola: l'*energia;* la grandezza che forma l'invariante universale è la quantità di energia, e le differenze tra le cose sono differenze qualitative

(1) Ostwald, *Die Ueberwindung des wissenschaftlichen Materialismus* (Leipzig, 1895). pp. 1-14.

e quantitative tra energie. Se dunque vogliamo chiamare « sostanza » ciò che permane costante e « accidente » ciò che distingue l'una dall'altra le cose, possiamo dire che l'energia è insieme la sostanza e l'accidente universale: « Die Energie ist die allgemeinste Substanz, denn sie ist das Vorhandene in Zeit und Raum, und sie ist das allgemeinste Accidenz, denn sie ist das Unterschiedliche in Zeit und Raum » (1). L'energia è dunque il concetto universale di cui andavamo in cerca, ed è un dato dell'esperienza; la gloria di MAYER è di avere resa possibile, colla legge della conservazione dell'energia, « eine hypotesenfreie Wissenschaft ». Se consideriamo il mondo esterno in rapporto al soggetto, vediamo che tutte le nostre sensazioni consistono in un lavoro, cioè in una variazione d'energia, che si compie nei nostri organi di senso; ciò che udiamo, è il lavoro che le ondulazioni dell'aria compiono sulla membrana del timpano, e per suo mezzo nell'orecchio interno; ciò che vediamo è l'energia raggiante che compie sulla nostra retina un lavoro che noi percepiamo come luce; mediante il tatto sentiamo il lavoro compiuto dall'energia meccanica; odori e sapori sono percezioni del lavoro chimico che si compie negli organi di senso corrispondenti. Sicchè possiamo concludere: « Ueberall sind es Energieen oder Arbeiten, deren Bethätigung uns davon Kunde giebt, wie die Aussenwelt geordnet ist, und welche Eigenschaften sie hat » (2).

L'irriducibilità delle varie forme d'energia è il fatto a cui si appoggia l'energetica; se le energie non fossero qualitativamente differenti, non si spiegherebbe perchè debbano agire diversamente sui nostri organi di senso. Che a noi sembri identico ciò che ad altri esseri forniti di più fini mezzi di osservazione si rivela differente, sarebbe più facile supporre: ma non è da supporre che quello che a noi si rivela differente possa essere identico; se dunque noi riusciamo a distinguere diverse forme di energia, possiamo essere sicuri che esse sono qualitativamente differenti. Lo scopo della scienza dev'essere di porre in risalto queste differenze in tutta la loro nettezza per ottenere una più giusta rappresentazione della realtà (3). Alla domanda: che sono i corpi? l'energetica risponde: sono un complesso di qualità,

---

(1) OSTWALD, *Vorlesungen über Naturphilosophie* (Leipzig, 1902), pp. 146-7.
(2) OSTWALD, *Vorlesungen über Naturphilosophie*, p. 159.
(3) OSTWALD, *L'Énergie* (trad. franc., Paris, 1910), pp. 128-29.

di energie variamente connesse tra loro e trasformantisi secondo leggi determinate. Un corpo solido ci presenta anzitutto una forma, un aspetto geometrico determinato, le cui variazioni consistono nelle deformazioni elastiche; i cangiamenti di forma di un corpo sono l'effetto di un lavoro a cui si può dare il nome « energia di forma »; poichè l'energia non si crea dal nulla, un corpo solido non può cangiare forma senza la spesa di una certa quantità di energia. La conservazione della forma geometrica nei solidi è una conseguenza della conservazione dell'energia. Ma un corpo può variare anche conservando la sua forma: allora il lavoro speso in tali cangiamenti, consistenti in variazioni di volume, prenderà il nome di « energia di volume »; le azioni dell'energia di forma e dell'energia di volume originano il mondo che noi percepiamo per mezzo del tatto (1). Altre due proprietà della materia sono il peso e il movimento; il peso è la manifestazione della forza di gravità, effetto dell'« energia di gravitazione » che si può anche chiamare « energia di distanza »; quest'energia tiene uniti due corpi nello spazio secondo rapporti costanti ed è funzione della loro distanza; essa non è localizzata, come le altre, in punti determinati, ma diffusa in tutto lo spazio; così sembra all'Ostwald di sciogliere l'enigma dell'azione a distanza. Ma quando un corpo cade da una certa altezza, la sua energia di gravitazione diminuisce; diremo che una parte ne va perduta? No: si è trasformata in un'altra specie di energia; l'« energia del movimento », la quale dipende da un lato dalla velocità della caduta, dall'altro da un'altra proprietà speciale dei corpi, la massa; ma si avverta che la massa non ha altro significato fuori di questa relazione all'energia di movimento, e sarebbe un errore il definirla come la « quantità di materia »; infatti per stabilire l'uguaglianza di due masse non c'è altro mezzo che dire: sono uguali due masse quando, colla spesa di uguali lavori, acquistano uguale velocità; così si stabilisce per definizione la proporzionalità tra massa ed energia di movimento (2). Le relazioni tra queste ultime due forme di energia ci danno la scienza della meccanica pura, la quale considera i corpi come assolutamente rigidi, tali cioè che per ogni loro variazione di forma è necessario il consumo di

(1) Ostwald, *Vorlesungen über Naturphilosophie*, pp. 167-69.

(2) Ostwald, *Vorlesungen über Naturphilosophie*, pp. 177-79 e 184-85. Nota la somiglianza di questa definizione della massa con quella che abbiamo veduto data dal Mach.

una quantità di energia infinitamente grande. Ma ci sono dei corpi nei quali l'energia di forma si riduce a nulla, e sono i liquidi e i gas; nei primi i fenomeni della coesione, della tensione superficiale, della capillarità, si spiegano mediante un'altra specie di energia, l' « energia di superficie »; lo stato gazoso poi è il più semplice, ed è caratterizzato dal fatto che la sua energia di volume ha sempre un valore positivo (1).

A queste energie, che ci danno le proprietà generali dei corpi, e nelle quali è facile riscontrare le « qualità primarie » dei fisici meccanicisti, si aggiungono le altre quattro forme di energia irriducibili: il calore, l'elettricità, l'energia raggiante e l'energia chimica, governate dalle due leggi capitali della termodinamica: la legge della conservazione dell'energia e la legge dell'aumento di entropia. Il bisogno di ridurre l'ignoto al noto ha spinto a ridurre queste varie specie di energie a movimento, quando ancora non si erano stabiliti i concetti fondamentali dell'energetica, sol perchè i fatti meccanici erano già conosciuti. Ma le spiegazioni meccaniche debbono essere abbandonate per due ragioni: anzitutto, perchè sono ipotesi metafisiche che non hanno fatto progredire la scienza; delle due teorie dell'emissione e dell'ondulazione della luce, ad esempio, ciò che rimane è il complesso delle leggi sperimentali che esse cercavano d'interpretare, ma ciò che contenevano d'ipotetico è stato abbandonato per far posto alla teoria elettromagnetica; anche questa per altro è una spiegazione metafisica che non ha accresciuto la conoscenza di rapporti concreti tra fenomeni, e sarà presto, come le altre, sepolta « ohne Sang und Klang » perchè mira a ridurre forme di energia irriducibili (2). In secondo luogo, la riduzione dell'ignoto al noto era più illusoria che reale, perchè nessuno potrà asserire sul serio che l'etere e i suoi supposti movimenti siano più noti dei fenomeni luminosi, che i movimenti delle molecole e degli atomi siano più chiari delle variazioni di temperatura (3). Falliti così e sepolti i tentativi di « erklären », cioè ridurre ad altro, le varie specie di energia, non rimane che assumerle come irriducibili e concludere che le differenze qualitative che le distinguono non possono essere eliminate. Esse costituiscono il mondo energetico (das energetische Weltbild).

---

(1) Ostwald, *Vorlesungen über Naturphilosophie*, pp. 195-201.
(2) Ostwald, *Die Ueb rwindung d. wiss. Materialismus*, pp. 15-18.
(3) Ostwald. *Vorlesungen über Naturphilosophie*, pp. 203-209.

La concezione dell' OSTWALD, che si estende poi al campo dei fenomeni vitali, dei fatti psichici e degli ideali morali, nel quale noi non dobbiamo entrare, ha sul meccanicismo il grande vantaggio di non temere smentite dall'esperienza, perchè non oltrepassa il mondo sperimentabile con ipotesi arbitrarie, è anzi una semplice *trascrizione* in termini energetici dei dati dell'esperienza. Da un lato questa concezione riconosce le originarie ed irriducibili differenze qualitative tra le energie, dall' altro il concetto di energia e le due leggi fondamentali del cangiamento quantitativo e qualitativo permettono di giungere, in questa nuova «Weltanschauung», ad un grado di unità non inferiore a quello a cui aspirava il meccanicismo. In questo l' energetismo dell' OSTWALD non si distingue, se non forse per la terminologia, dalla concezione del DUHEM, il quale pure dalla critica del meccanicismo è giunto ad una fisica qualitativa (1). Rinunziando per sempre alla « chimerica » intrapresa di risolvere tutte le proprietà dei corpi nel movimento di masse omogenee, il DUHEM sostiene la necessità di ammettere nella fisica altri elementi che quelli geometrici e meccanici: le *qualità,* elementi irriducibili, come le energie dell'OSTWALD. Tutto il mondo della nostra esperienza è un mondo di qualità, e la fisica non deve oltrepassarlo; perciò non parleremo più di movimenti molecolari, di vibrazioni eteree, di fluido elettrico, ma parleremo di corpi più o meno caldi, di luci più o meno intense e variamente colorate, di elettricità vitrea e di elettricità resinosa. Questo non vuol dire che si debba rinunziare ad una considerazione quantitativa dei fenomeni fisici, chè anzi, secondo il DUHEM, la fisica teorica è una fisica matematica; infatti le diverse intensità di una qualità possono essere espresse mediante numeri (che indicano, come si può capire, i *potenziali,* termico, elettrico, ecc.); la teoria fisica non deve avere per oggetto d'interpretare metafisicamente le qualità,ma di tradurle nel linguaggio dell'algebra, senza fare ipotesi sulla loro natura oggettiva. Possiamo graduare le varie intensità del calore senza occuparci di definire che cosa sia *in sè* quello che percepiamo come calore; e allora, fatta la scala delle temperature, potremo trattare i fenomeni termici mediante una serie di equazioni che ne descrivano l'andamento; lo stesso si può dire per le altre qualità fisiche: l'elettrizzazione, la magnetizza-

(1) DUHEM, *La théorie physique, son objet et sa structure* (Paris, 1906), specialm. pp. 171-212; *L'évolution de la mécanique*, pp. 197-208.

zione, la polarizzazione dielettrica, la luce ecc. La fisica così ci si presenta « science expérimentale des qualités corporelles, et cependant, science qui se développe en une suite de calculs algèbriques». Essa comprenderà quattro rami che si elevano dal tronco principale della termodinamica: lo studio dei fenomeni che si possono considerare come reversibili, sebbene non lo siano mai perfettamente, e sono quelli già studiati nella meccanica classica; lo studio dei sistemi ad attrito, che presentano già un notevole grado d'irreversibilità; lo studio dei sistemi ad alterazione permanente (isteresi), infine lo studio dell'elettrodinamica e dell'elettromagnetismo.

Il Duhem mette bene in guardia coloro ai quali questa fisica qualitativa potesse sembrare un ritorno alla fisica peripatetica delle qualità occulte; dalla scienza scolastica la nuova fisica delle qualità si distingue in due punti essenziali. In primo luogo, se la nuova fisica si arresta all'aspetto qualitativo dei fenomeni, lo fa per non oltrepassare il campo dell'esperienza con azzardate ipotesi metafisiche; non si occupa di ricercare qual sia la natura intima del calore e della luce, e si guarda bene dall'introdurre la virtù calorifica e la virtù luminosa come principî esplicativi dei fenomeni. Tanto la fisica peripatetica quanto la fisica meccanica, pur così diverse nei metodi e nelle conclusioni, permangono sul terreno dogmatico di chi crede di poter cogliere la natura del reale per mezzo della percezione esterna; invece la fisica moderna delle qualità è *fenomenistica* in quanto assume i dati dell'esperienza senza pretendere di spiegarli, sapendo bene che non possono essere scambiate le qualità sensoriali colla realtà ultima; in questa concezione è evidente l'influsso kantiano. Per la medesima ragione, la nuova fisica ritiene che l'ammissione di certe qualità come « prime » o irriducibili, debba essere provvisoria, perchè non si può escludere che quelle qualità che allo stato attuale della scienza sembrano irriducibili possano in un progresso ulteriore delle conoscenze essere ridotte ad altre; già oggi non si deve ammettere come qualità prima la qualità del suono, che, come abbiamo rilevato, può ridursi all'energia meccanica. La fisica peripatetica, invece, moltiplicava inopportunamente le qualità irriducibili e impediva di raggruppare i fenomeni in date classi. In secondo luogo, mentre la fisica peripatetica si limitava a considerare l'aspetto qualitativo dei fenomeni, la nuova fisica, considerando la possibilità « de discourir des qualités physiques dans

le langage de l'Algèbre », è capace di sottoporre i fenomeni a misura e a calcolo. Sta qui il grande progresso della fisica moderna sulla fisica antica e medioevale, e per questo i grandi fisici del '600 si sono acquistati un merito immortale. L'aspetto quantitativo dei fenomeni era del tutto trascurato dagli scolastici, mentre è il solo aspetto per cui i fenomeni possono essere assimilati dall'intelletto. La fisica, conclude il DUHEM, ha un duplice compito: prima la *classificazione* e la *descrizione* dei fenomeni, poi la loro *misura;* ogni ipotesi metafisica dev'essere abbandonata.

Così tanto il DUHEM quanto l'OSTWALD si accordano nell'accettare, per la fisica, la formula di NEWTON: *Hypotheses non fingo.* Ma a questo punto nasce il distacco tra i due scienziati; poichè mentre il DUHEM, sia per il suo temperamento analitico, sia per l'influsso dell'indirizzo matematico prevalente nella scienza francese, si tiene rigorosamente fermo al suo fenomenismo, l'OSTWALD, subendo forse inconsciamente il fascino della grande tradizione metafisica della filosofia tedesca, si lascia trasportare a costruzioni fondate molto lontano dal terreno dell'esperienza schietta. L'OSTWALD, è vero, afferma che i dati della scienza sono i soli sufficienti a darci un quadro completo della natura; ma mentre crede così di avere eliminato dal suo sistema la metafisica, finisce poi col dare valore metafisico alle nozioni a cui mette capo la scienza. A questo riguardo tuttavia dobbiamo osservare che non sempre egli è coerente con sè stesso; anzi, mentre la sua adesione dichiarata alle idee gnoseologiche del MACH lo farebbe credere un fenomenista radicale, in alcune sue opere si avvicina al realismo critico di KANT, e in altre si avvia verso una costruzione addirittura metafisica. Ma l'esigenza realistica in lui prevale, giacchè dichiara più volte (ciò a cui il MACH non sottoscriverebbe) che il mondo fenomenico non è il mondo in sè, ma è la manifestazione di una realtà a conoscer la quale l'esperienza può guidarci. Un passo notevole che mostra questo indirizzo del pensiero ostwaldiano è nel libro « Die Energie » e merita di essere riportato.

« Così l'energetica ci fa riconoscere nel nostro mondo un *mondo per noi.* Essa non nega che ci possano essere dei mondi affatto differenti per degli esseri viventi in condizioni energetiche differenti. KANT ha dunque ragione quando dice, insistendo fortemente su quest'idea, che noi non conosciamo il

mondo altro che come ci apparisce, e non come « è ». Ma, d'altra parte, ha certamente torto quando nega ogni possibilità di conoscere il mondo « in sè ». Il mondo elettrico e magnetico non ci « appare » affatto, perchè noi non possediamo un senso che ci riveli immediatamente questo mondo. Tutta la sua esistenza riposa per noi su delle conclusioni immediate, che noi abbiamo ricavate da certi altri fenomeni, - fenomeni che si svolgono in sfere accessibili ai nostri sensi..... Il mondo reale è probabilmente molto più ricco e molto più vario che il nostro mondo, ma questo forma una porzione ben delimitata del « mondo in sè ». Poichè il solo significato che noi possiamo attribuire all'espressione « mondo in sè » è questo: il mondo in sè rappresenta l'insieme di tutte le relazioni possibili tra tutti i sistemi possibili. Noi stessi e le nostre relazioni siamo certamente delle relazioni possibili, poichè siamo delle relazioni reali; perciò, noi e le nostre relazioni formiamo certamente una parte della realtà.....

« Bisogna ancora dire una parola circa l'osservazione che le impressioni prodotte su noi dal mondo esterno si colorino in maniera speciale a causa della natura dei nostri organi di senso, e che questa colorazione speciale non appartiene alle « cose in sè », ma alla nostra natura personale. Questo fatto è certo. Ma sarebbe errore l'ammettere che il carattere del mondo esterno ne venga snaturato al punto di essere irriconoscibile... Questi apparecchi (gli organi di senso) sono messi in azione da energie esterne e riproducono, nel loro ordine di successione, le variazioni d'intensità di queste energie. Ma fanno questo in una lingua che dipende dalla loro organizzazione particolare. Per conseguenza, per sapere ciò che nelle nostre sensazioni appartiene alla cosa in sè e ciò che deriva dalla lingua propria dell'apparecchio noi dovremo domandare alla fisiologia dei sensi di farci conoscere questa lingua, poi sopprimere dalle nostre sensazioni ciò che deriva dall'apparecchio; allora saremo edotti sulla cosa in sè..... Alla scienza incombe l'ufficio di determinare esattamente ciò che nei fenomeni è soggettivo e ciò che è oggettivo » (1).

Sicchè l'Ostwald, lungi dalla prudente riserva in cui si tengono i fenomenisti, crede che la scienza sia capace di rivelarci la natura del reale; e considera come « cosa in sè », come

(1) Ostwald, *L'Énergie* (trad. franc.), pp. 166-169.

sostanza, l'energia. Ecco perchè la scienza dell'OSTWALD diventa metafisica. È accettabile questa concezione?

La parola « energia », di cui si fa tanto uso nella scienza moderna, non ha mai ricevuta una definizione conveniente. La prima e più diffusa definizione dell'energia come « capacità di produrre lavoro », data dal RANKINE e da WILLIAM THOMSON, aveva il difetto di non considerare altro cangiamento fisico che il lavoro meccanico, e non può quindi essere accettata dalla moderna fisica qualitativa. Ma per evitare questo difetto non basta il definire l'energia come « capacità di cangiamento in generale », prima di tutto perchè questa definizione, come la precedente, tien conto soltanto di *uno* stato dell'energia, lo stato potenziale, e poi perchè la legge dell'irreversibilità mostra che vi sono delle energie incapaci di dar luogo a cangiamenti, di trasformarsi qualitativamente. Per giungere ad un concetto esatto dell'energia dobbiamo appunto distinguer bene lo stato potenziale dallo stato attuale dell'energia; l'energia attuale è una *qualità* (nel senso in cui il DUHEM adotta questa espressione): movimento, calore, luce, elettricità, affinità; e l'energia potenziale esprime la possibilità di dar luogo alla manifestazione di una qualità. Ora, quando si dice che ciò che permane nei cangiamenti è l'energia, si vuol dire che permane costante quella quantità che risulta dalla somma dell'energia potenziale e dell'energia attuale. L'« energia » in generale, dunque, è una pura quantità: essa appartiene al dominio delle matematiche; è quindi evidente che non può essere considerata come una sostanza.

È un errore di metodo assai comune a coloro che vogliono discutere di filosofia e di scienza senza orientarsi bene nel campo o dell'una o dell'altra, quello di trasportare i concetti matematici sul terreno delle scienze realistiche e di servirsene come di concetti metafisici. Anche l'OSTWALD è rimasto vittima di questo errore. Il concetto di « invariante », infatti, è stato introdotto nella teoria matematica dei « gruppi di sostituzioni » per indicare quelle proprietà che le funzioni trasformate conservano attraverso tutti i loro cangiamenti. P. es. il gruppo delle sostituzioni lineari (1) non altera il grado di una funzione

(1) Ricordiamo qualche definizione a scopo di chiarimento. « Sostituzione »; in generale, è un cambiamento di variabile. Quando si pone p. es : $x = \varphi(x', y', z')$, $y = \chi(x' y' z')$; $z = \psi(x', y', z')$, si sostituiscono alle variabili x, y, z, le variabili x', y', z'. Facendo ancora una sostituzione analoga, per cui alle variabili x', y', z', vengano sostituite le variabili x'', y'', z'', il risultato si chiama « prodotto » delle due sostituzioni. Una serie qualsiasi di sostituzioni forma un « gruppo »

algebrica: questo grado è allora l'invariante del gruppo; così il gruppo delle sostituzioni ortogonali non altera la somma dei quadrati delle variabili: questa somma è l'invariante del gruppo ortogonale, ecc. Data questa definizione dell'invariante, si capisce che, con una certa estensione di significato, si possa chiamare « invariante universale » quella grandezza matematica che, nelle equazioni della fisica, si conserva attraverso tutti gli sviluppi; ma che senso può avere, poi, il parlare di un « invariante universale » nel mondo dell'esperienza? Il cercare, come fa l'Ostwald, un simile invariante nel mondo fenomenico è un giuoco inutile, perchè nulla vi è di invariante nei feno meni; l'energia, considerata in generale (e al singolare) come una *quantità,* è un invariante universale, ma non è un fenomeno, bensì una pura grandezza matematica; e le energie considerate (al plurale) come *qualità,* appartengono sì al mondo fenomenico, ma non sono invarianti, sono anzi proprio ciò che muta, ciò che si trasforma continuamente. L'Ostwald aveva rimproverato al materialismo scientifico di scambiare quella grandezza - la massa - che si conserva costante in ogni processo fisico, con la realtà; ma non commette egli stesso il medesimo errore quando scambia l'energia con la sostanza? non dà corpo a un ente matematico? non assume come principio metafisico, come elemento concreto del reale, il risultato di un'astrazione? Questo scambio dell'astratto col concreto è uno dei principali sintomi della metafisica superficiale; ne era viziato il materialismo, ma non ne è meno inquinato l'energetismo ostwaldiano.

Se ci addentriamo anche meglio in questa dottrina, vediamo sempre più quanto scarso sia il progresso di essa di fronte alla metafisica materialista. L'energia è, si dice, la sostanza e l'accidente universale; ossia, come risulta dalle spiegazioni dell'Ostwald, le singole energie (calore, luce ecc.) sono gli accidenti della sostanza « energia »: dei fenomeni sensoriali sono gli accidenti di un concetto astratto! Come il materialismo pretendeva di caratterizzare la realtà per mezzo di alcuni dati della

---

quando il prodotto di due qualunque di esse fa parte della serie considerata. Le funzioni φ, χ, ψ possono essere funzioni lineari: allora le sostituzioni di questo tipo formano il gruppo delle sostituzioni lineari, ecc. La teoria delle sostituzioni ha avuto, tra l'altro, importantissime applicazioni nella concezione geometrica e fisica dello spazio (cfr. i lavori di Lorentz, di Minkowski, di Poincaré ecc.).

percezione sensoriale, così l'energetismo vuol giungere alla definizione del reale partendo dai dati percettivi, le qualità sensoriali: ma mentre il materialismo spogliava la realtà percettibile di alcuni attributi sensoriali e coi rimanenti definiva la realtà oggettiva, l'energetismo finisce con lo spogliare la realtà sperimentale di *tutte* le note percettibili, e per la realtà oggettiva, per la « cosa in sè » non gli resta che.... una parola. Questo prova ancora una volta che è impossibile assurgere ad una concezione metafisica senza volere uscire dal campo dell'esperienza esterna, come faceva il materialismo, che trasportava perfino nell'interpretazione dei fatti spirituali i metodi e i concetti formati nell'ambito filosoficamente ristretto del mondo che si rivela alla percezione sensoriale.

Non ci fermiamo poi a rilevare la vacuità di quella trascrizione in termini energetici dei dati dell'esperienza, con cui l'Ostwald crede di appagare il nostro desiderio di conoscerne la natura. L'enigma, perchè un corpo presenti una forma, un volume, un peso, non è sciolto quando si è risposto: perchè è costituito di un'energia di forma, di un'energia di volume e di un'energia di gravitazione. L'origine delle percezioni della luce, del movimento, del calore, dei sapori e degli odori non è spiegata quando si è detto che noi percepiamo energia raggiante, energia cinetica, termica, chimica. Il dire che un dato fenomeno è una manifestazione di energia non ci fa saper niente sulla sua natura, quando di tutti i fenomeni si ripete nello stesso tono che sono manifestazioni di energia; noi vorremmo sapere in che differiscono, quali sono le differenze specifiche tra i fenomeni, e soltanto una scienza e una filosofia che ci *spieghino*, senza *sopprimerle*, queste differenze potrà soddisfare il nostro bisogno conoscitivo. Se la « scienza libera da ipotesi » è quella che per ogni fatto ripete la stessa formula: tutto è energia (come altri dicono, con lo stesso semplicismo: tutto è atto del pensiero, oppure: tutto è materia, o sim.), dichiariamo francamente che essa ci è inutile quando cerchiamo di approfondire la natura del mondo dell'esperienza.

Il Duhem segue invece una via molto diversa [1]. La formula newtoniana ha per lui un significato molto più profondo che per l'Ostwald: essa esprime l'impossibilità, per la mente

(1) Duhem, *L'évolution de la mécanique*, pp. 181-196.

umana, di cogliere la natura del reale, e quindi la vanità di tutte le ipotesi che, come quella meccanica, pretendono di oltrepassare il mondo delle qualità. « L'ipotesi che tutti i fenomeni possano spiegarsi meccanicamente non è per il fisico nè vera nè falsa: essa non ha, per lui, alcun senso ». Infatti, aggiunge il Duhem, l'unico criterio per giudicare la falsità di un'ipotesi è, presupposta la mancanza di contraddizione logica, il trovarsi in disaccordo coll'esperienza; ora l'ipotesi meccanica non si trova, secondo lui, in disaccordo coll'esperienza e non può quindi essere giudicata falsa. Ma non basta questo a chiamarla vera, perchè mancano delle ragioni positive in suo favore. Per chi si tiene ai risultati sperimentali, la proposizione « tutti i fenomeni fisici si spiegano meccanicamente » non può esser dichiarata nè vera nè falsa: « Cette proposition est transcendente à la méthode physique ».

Date queste condizioni, per uscire dall'incertezza non ci sono che due vie: o, abbandonando la scienza, ricoverarsi nella metafisica; o, rimanendo nel campo della scienza, appellarsi non alla soluzione più *vera*, ma a quella più *comoda*. La prima via, quella seguìta da Cartesio nel suo tentativo di dedurre i principî direttivi della scienza dai preconcetti metafisici, è stata abbandonata dopo che Leibniz ebbe prodotta la sua famosa « *Demonstratio erroris memorabilis Cartesii* »; da allora in poi nessuno ha più osato salire tanto alto a cercare le basi del sapere scientifico, e si è riconosciuto che solo il controllo dell'esperienza può garantire i principî. Rimane allora l'altra via, la via della scienza, che non può condurci alla verità oggettiva, ma solo all'economia del pensiero; la maniera di esporre la fisica sarà scelta allora in vista della maggior comodità. Ammesso questo, il problema è cacciato dal campo scientifico nel campo psicologico: poichè essendo due i temperamenti degli scienziati, quello tendente alle astrazioni e quello incline all'imaginazione, per l'uno sarà sufficiente una trattazione matematica, analitica, descrittiva, mentre l'altro avrà l'esigenza di tradurre tutto in figurazioni di masse e movimenti, di stabilire rapporti spaziali, di concretare le leggi fisiche in rappresentazioni sensoriali reali o possibili: nell'uno e nell'altro caso non si deve aver la pretesa di figger gli occhi nella realtà, che rimane per sempre celata alle nostre investigazioni.

Con queste ultime affermazioni, il Duhem si avvicina al fenomenismo radicale del Mach non meno che al pragmatismo

del Le Roy; i concetti scientifici, privati d'ogni valore oggettivo e ridotti ai mezzi di cui ciascuno scienziato si serve, a seconda della sua mentalità, per rappresentarsi economicamente i fenomeni naturali, assomigliano ormai non poco a quei « feticci antropomorfi » di cui parla uno dei più esagerati seguaci del pragmatismo tra i naturalisti, il Kozlowski (1). Il che ci meraviglia, perchè il Duhem stesso in altre pagine mostra una ben più ponderata concezione dei limiti delle conoscenze sperimentali e dei diritti rispettivi della scienza e della filosofia. Noi riteniamo di aver confutata, al proposito del Mach, l'opinione che la scienza miri soltanto ad una rappresentazione comoda ed economica del reale; chè se fosse così, poichè i temperamenti sono molti più dei due descritti dal Duhem, ognuno dovrebbe foggiarsi una scienza a suo modo e tutte le costruzioni che la fantasia umana potrebbe scapriccirsi ad erigere avrebbero tutte lo stesso valore. L'intento che la scienza persegue non può essere altro che l'intento conoscitivo, e il suo fine quindi quello di cogliere, o almeno di avviare a cogliere l'oggettività nel mondo dell'esperienza.

Premesso ciò, rileviamo una contraddizione in cui il Duhem cade nelle sue considerazioni. Egli afferma prima che la scienza (s'intende la scienza sperimentale) non è capace di risolvere il problema se l'ipotesi meccanica od altra ipotesi sulla natura del reale sia vera o falsa, perchè simili ipotesi trascendono il campo della fisica: dunque sono ipotesi metafisiche; dunque la scienza sperimentale è incompetente a giudicare del valore delle ipotesi metafisiche. Perchè allora il Duhem scarta come assolutamente sbagliata la via della metafisica, la via in cui Cartesio ha commesso il suo memorabile errore? Perchè, dice, le teorie dedotte dai presupposti metafisici risultarono smentite dal controllo della scienza sperimentale. Ma allora la scienza sperimentale è competente a giudicare del valore delle ipotesi metafisiche! Qui non si può uscire da un dilemma: o scienza e metafisica riguardano campi completamente separati e privi d'ogni comunicazione, e allora l'ipotesi cartesiana, l'atomismo,

(1) « Les concepts de la science, loin de correspondre à des réalités extérieures, ne sont au contraire que des fétiches anthropomorphiques de la pensée primitive, élaborés et adaptés par une série d'opérations méthodiques aux nécessités de la pensée scientifique » Kozlowski, *La combinaison chimique au point de vue de la théorie de la connaissance* (in *Bibl. du Congrès internat. de Philosophie*, 1900, vol. III. p. 530).

l'energetismo e qualsiasi altra ipotesi metafisica è sottratta al controllo della scienza e non può da questa esser dichiarata nè vera nè falsa; oppure la scienza sperimentale rappresenta la corte di appello finale di tutte le ipotesi esplicative sulla natura della realtà, e allora scienza e metafisica devono avere almeno una porzione di territorio comune. Quale delle due tesi è più accettabile?

Perchè la risposta a questa domanda appaia ben fondata, dobbiamo accennare prima alle diverse fasi del processo costruttivo della scienza. Tale argomento è stato trattato ampiamente da molti scienziati e filosofi e, a dire il vero, non riguarda il nostro tema così direttamente da esigere in questo luogo un'estesa trattazione; noi dobbiamo parlarne come necessaria premessa allo studio del problema che ci siamo posti, e, senza attardarci nel riferire e discutere le teorie già esposte da altri, cercheremo di indicare il procedimento seguito dalla scienza nella sua formazione, traendo i dati dall'osservazione concreta dei metodi scientifici ed appoggiando con esempî i risultati della nostra analisi.

1.° Il primo passo verso la costruzione della teoria fisica consiste nell'isolare un fenomeno dagli altri, considerarlo a sè, staccarlo dal complesso in cui si trova immerso nella realtà sperimentale, con lo scopo principale di caratterizzarlo con le sue note tipiche ed essenziali, di definirlo. Noi sperimentiamo, ad es., una quantità di corpi che hanno forma, volume e peso, hanno un colore, proprietà chimiche, proprietà elettriche e magnetiche, si muovono nello spazio, sviluppano od assorbono calore ecc.; il primo stadio delle operazioni fisiche è raggiunto quando si staccano gli uni dagli altri questi caratteri, in modo da costituire tanti tipi di fenomeni formanti ciascuno un'unità per sè stante. Così, p. es., si considera, nei corpi che noi sperimentiamo, il moto: si isola questo aspetto dagli altri (colore, temperatura ecc.), si osservano le note essenziali che concorrono ad individuarlo, si giunge così alla sua definizione (« il moto è lo spostamento dei corpi nello spazio »), si astrae infine, dal complesso organismo dell'esperienza, il fenomeno « moto », oggetto dell'ulteriore elaborazione scientifica. Così ancora, si considera l'aspetto della luminosità come indipendente dagli altri aspetti dei corpi, lo si caratterizza, lo si definisce, e, astraendolo dal complesso dell'esperienza, si costituisce il fenomeno « luce »; e così per tutti gli altri fenomeni. In questa

prima fase si osservi: in primo luogo, che nell'isolare i diversi tipi di fenomeni ci serviamo essenzialmente dei dati percettivi: noi stacchiamo il moto dal calore, la luce dal suono, l'elettricità dalle azioni chimiche, seguendo la guida della nostra percezione sensibile, la quale ci presenta nei corpi sperimentati aspetti diversi e in gran parte indipendenti; fin qui, dunque, l'analisi scientifica permane nel campo qualitativo. In secondo luogo, l'isolamento dei diversi fenomeni implica un postulato tacitamente ammesso in ogni considerazione scientifica della natura: il postulato dell'autonomia di un fenomeno (ossia, in ultimo, di un aspetto del comportamento dei corpi) rispetto agli altri fenomeni (agli altri aspetti del cangiamento); noi possiamo considerare il fenomeno « moto » in quanto presupponiamo che il calore, la luminosità, le proprietà magnetiche ecc. dei corpi non abbiano rapporto col loro moto, o almeno che la loro azione sul moto sia così insignificante da non alterare affatto le caratteristiche del fenomeno « moto »; e lo stesso si può ripetere per ciascun fenomeno. Non si può negare una certa artificiosità in questo procedimento, ma essa è resa necessaria dal compito della scienza, l'assimilazione della realtà sperimentale al pensiero.

2.° Compiuta questa operazione preliminare, si inizia lo studio di ciascun fenomeno per sè preso. Si osserva anzitutto che in un fenomeno entrano parecchi elementi, dal cui concorso esso nasce; e che questi elementi non sono variabili a caso, ma sono legati tra loro da certe relazioni, tali che il variare degli uni porta seco una correlativa variazione degli altri. P. es. nel fenomeno del moto entrano come elementi caratteristici della sua definizione lo spostamento nello spazio e nel tempo; orbene, spazio e tempo sono legati, nel moto, da certe relazioni che ne individuano le varie forme: così nel moto uniforme ogni variazione del tempo porta di conseguenza una variazione nello spazio, tale, che a tempi uguali corrispondono spostamenti uguali; nel moto uniformemente accelerato o ritardato invece a tempi uguali successivi corrispondono spostamenti che aumentano o diminuiscono secondo una certa regola, e così via. Nel fenomeno del « suono » entrano come elementi caratteristici le vibrazioni dei corpi sonori e la qualità sensoriale del suono con le sue note (altezza, intensità, timbro); questi elementi stanno in un certo rapporto, perchè all'aumento delle vibrazioni nell'unità di tempo corrisponde, secondo una regola precisa, un aumento dell'altezza del suono, ecc.; e lo stesso si può

ripetere per il comportamento dei raggi luminosi (p. es. ad angoli di incidenza uguali corrispondono angoli di riflessione uguali, ecc.), per la conduzione del calore, per la trasformazione del calore in lavoro, per i fenomeni elettrici, elettrodinamici ecc. ecc. In tutti i casi siamo di fronte al medesimo fatto: la relazione di dipendenza di certi elementi di un fenomeno dagli altri; l'andamento di un fenomeno si può sempre esprimere mediante un sistema di coordinate rappresentanti gli elementi costitutivi del fenomeno; e la forma speciale di questa relazione è la *legge* del fenomeno studiato. Così si giunge alle leggi del moto, del calore, della luce, dell'elettricità, a quel complesso, cioè, di relazioni quantitative che indicano, in funzione dei loro elementi, il comportamento di ciascun fenomeno. - Aggiungiamo che non è affatto necessario che la relazione di dipendenza di alcuni elementi dagli altri (es. le variazioni dello spazio dal tempo nel fenomeno del moto, l'altezza del suono dalle vibrazioni, la quantità di calore sviluppata dal lavoro compiuto ecc.) sia una relazione di dipendenza causale: col sistema di coordinate non si esprime altro che una relazione di dipendenza *funzionale*.

3.° Giunti a questo punto, con un mutamento di prospettiva si compie un altro passo verso la costruzione del sistema scientifico. Finora, infatti, si teneva conto, in un fenomeno, degli elementi caratteristici, tra i quali si ricercavano le relazioni quantitative o leggi; ma si possono anche considerare come elementi costitutivi del fenomeno *soltanto* quegli elementi caratteristici tra cui si sono stabilite le leggi; e ciò implica un estremo grado di astrazione e di generalizzazione. Finora, per continuare gli esempî sin qui addotti, si cercavano le leggi dei corpi in movimento e si trovavano quelle date relazioni tra variazioni del tempo e variazioni dello spazio; ora si riduce il movimento a queste relazioni pure e semplici, si sostituiscono i corpi con dei *punti* (non aggiungiamo, come sogliono i fisici, l'aggettivo *materiali* che implicherebbe una *contradictio in adjecto*), e si arriva così a stabilire le leggi del moto in generale, in astratto, in teoria. Coordinando in un sistema unitario tutte le leggi che regolano l'andamento di un fenomeno si costituiscono le teorie fondamentali della fisica matematica: la meccanica razionale, l'ottica geometrica, l'acustica, la termodinamica, l'elettrodinamica e l'elettromagnetismo. Le *teorie* non riguardano più i singoli fenomeni sperimentali, ma certi mo-

delli ideali nell'ambito dei quali esse hanno precisa, esatta applicazione; non va per altro dimenticato che questi modelli, per quanto astratti, sono astratti dall'esperienza, che è stata il punto di partenza di tutto il processo costruttivo della teoria; quindi è naturale che la teoria trovi applicazione nell'esperienza, non con quella precisione con cui si applica al modello astratto, ma con l'approssimazione imposta dal grado stesso dell'astrazione, ossia dall'intervento, nell'esperienza, di tutti quei fattori che a poco a poco erano stati eliminati come inefficaci, come incapaci di alterare le linee caratteristiche del fenomeno, ma che in realtà agiscono, più o meno intensamente, perchè nulla vi è di assolutamente autonomo, nulla di sottratto all'interazione di tutti gli elementi nell'organismo indissolubile della natura. Si è esagerato troppo, da alcuni critici (Bergson e sua scuola), nel parlare dell'artificiosità delle teorie matematiche della scienza, giungendo a dire che queste son concepite al di fuori dell'esperienza e che invano tentano di costringere nelle strettoie dei loro schemi preconcetti la vita pulsante della realtà; non c'è dubbio che un processo così complicato come quello con cui si giunge alla teoria matematica esiga qualche sacrificio da parte dell'esperienza e che qualche volta, per troppa brama di generalizzare, si commetta l'errore di trascurare certi caratteri individuali importanti; ma d'altra parte non bisogna dimenticare nè che l'isolamento dei varî gruppi di fenomeni è suggerito dall'esperienza, nè che le leggi sono sempre astratte dai risultati delle osservazioni, nè infine che le teorie matematiche trovano poi, quando sono esatte, una verifica incontrovertibile nei dati dell'esperienza stessa.

Con la costruzione delle teorie possiamo dire che il compito vero e proprio della scienza è terminato; quello che, su solide basi di osservazione e di ragionamento, viene così sistemato, acquista un valore definitivo, entra a far parte per sempre del patrimonio del sapere umano. Ma vi è anche uno stadio ulteriore, quello in cui la scienza assume il compito della filosofia.

4.° Il bisogno di non arrestarsi all'osservazione, alla scoperta e alla sistemazione delle leggi, ma di penetrare più a fondo nella natura dei fenomeni, è naturale e spontaneo; noi vogliamo cercar di sapere che cosa corrisponda, nella realtà, a ciò che l'esperienza ordinata ci presenta, in che consistano gli oggetti della nostra conoscenza sperimentale, quale sia il si-

gnificato delle leggi e delle teorie. Questo bisogno non è più scientifico, è filosofico: quindi in questo quarto stadio scienza e filosofia vengono a contatto, qui sorge il problema della rispettiva sfera d'influenza e di competenza. Ora ci domandiamo: hanno ragione coloro che negano assolutamente alla scienza il diritto di assumersi questo compito e lo affidano tutto alla metafisica? o, in altri termini, i risultati del lavoro scientifico fino alla costruzione della teoria sono privi di significato per il metafisico? e, reciprocamente, le ipotesi metafisiche possono esimersi del tutto dal controllo scientifico sperimentale? La nostra risposta è nettamente negativa; e la storia ci dà ragione. Ogni volta che si è tentato di costruire una metafisica senza appoggiarsi ai risultati scientifici, si è fatto un edificio esteticamente meraviglioso, ma che è franato sotto i colpi di quella stessa scienza che si credeva incapace di colpirlo; la metafisica cartesiana della natura è stata confutata dalle leggi del movimento e delle forze enucleate dall' esperienza per opera di Newton e di Leibniz; l'ipotesi atomica contrasta con le recenti esperienze sulla mutabilità degli elementi ultimi della materia; la concezione newtoniana e kantiana dello spazio è confutata dai recentissimi esperimenti di Lorentz, Michelson, Fitz Gerald sulle correnti magnetiche; il meccanicismo in generale, come concezione metafisica, noi l'abbiamo già veduto, è condannato dalle leggi sperimentali della termodinamica. Onde si può affermare da un lato che ogni ipotesi metafisica concepita al di fuori dei risultati scientifici è destinata a cadere, dall'altro che la scienza ha, effettivamente, la possibilità (e quindi il diritto) di giudicare senza appello ulteriore le ipotesi avanzate dalla filosofia. La pretesa incompetenza che il Duhem le attribuisce, non esiste; ed è per questo che scienza e filosofia hanno un terreno comune, e che, come la scienza è in continuo accrescimento e progresso, possiamo aver fiducia nei progressi della filosofia.

Ma d'altra parte, se i dati dell'esperienza formano il controllo supremo e inappellabile delle ipotesi metafisiche, nel senso che un' ipotesi contraddetta dall' esperienza va senz'altro scartata, dobbiamo pure riconoscere che la scienza non è da sè sola sufficiente per costruire ipotesi sulla natura della realtà. La pretesa degli scienziati di penetrare nel fondo della realtà senza trascendere i dati della scienza è altrettanto vana quanto quella dei metafisici di erigere sistemi senza una base scien-

tifica; e per annullare questa pretesa s'impone la funzione critica della filosofia, la quale rivela le inesattezze, le insufficienze, gli errori, i sofismi delle affrettate sintesi metafisiche azzardate dagli scienziati. Gli scienziati, quando si assumono il compito di interpretare e di spiegare i risultati sperimentali, seguono per lo più uno di questi tre metodi erronei: *a)* scambiano il rapporto di dipendenza funzionale tra gli elementi caratteristici di un fenomeno col rapporto di dipendenza causale: così p. es. quando dalla correlazione tra vibrazioni e suono concludono che le vibrazioni sono la causa oggettiva del suono, quando dall'esistenza di un equivalente meccanico del calore deducono che la natura oggettiva del calore è energia cinetica, ecc.); *b)* quando questo scambio non è possibile, imaginano una causa oggettiva al di fuori dei dati della percezione, ma la concepiscono sul modello delle forme percettibili del reale: così quando, per spiegare la natura della luce, la considerano come effetto dell'azione di un imaginario etere, sovrasensibile ma fornito delle stesse proprietà fisiche dei corpi sensibili (elasticità, struttura atomica ecc.); *c)* infine, per una visione frammentaria ed unilaterale della realtà, tendono a ridurre i più disparati fenomeni ad un unico tipo, ciechi alle differenze irriducibili che i fenomeni stessi manifestano: tale l'errore fondamentale del meccanicismo e d'ogni teoria negatrice delle differenze qualitative. Compiuta la revisione critica delle ipotesi avanzate dalla scienza, la filosofia conserva il diritto ed ha il compito di formulare quelle ipotesi che, evitando questi errori, sembrino, in un dato momento dello sviluppo delle nostre conoscenze, le più adeguate alla soluzione dei problemi, le meglio rispondenti al bisogno di spiegare i fenomeni, le più complete ed organiche, quelle che tengono conto dei risultati non di una sola o di un sol ramo, ma di tutte le scienze, quelle infine che meglio permettono una visione sintetica ed armonica della realtà.

Riteniamo di avere così delineata la nostra posizione, che, mantenendosi lontana dalle teorie estreme ed unilaterali in ogni senso, riconosce i diritti e i compiti rispettivi della scienza e della filosofia e i limiti della loro comune sfera d'azione. E chiudendo questa parte del nostro studio, ci sia lecito riaffermare, contro ogni forma di utilitarismo filosofico, contro ogni concezione economica del lavoro scientifico, la nostra fiducia negli scopi eminentemente teoretici della scienza e della filosofia;

l'evoluzione storica del sapere parla anche questa volta in nostro favore, perchè dimostra che il fine presente alle menti dei più grandi pensatori, l'ideale che ha brillato dinanzi al loro cuore, è stato quello di strappare alla natura i suoi segreti, non mai quello di alleggerire la fatica del pensiero. Non la scienza per l'utilità pratica, non la scienza per la felicità o per la gioia di credere a ciò che fa più comodo, ma la scienza e la filosofia per la verità, fosse pure un solo frammento del vero quello che esse ci possono rivelare, e anche questo adombrato, e con l'aggiunta dell'angoscia di un'aspirazione eternamente insoddisfatta verso una luce maggiore.

PARTE SECONDA

LE TEORIE CHIMICHE

I. Gli elementi.

Giunti a questo punto della nostra critica, respinto il meccanicismo da una delle sue posizioni più formidabili, dobbiamo procedere nella nostra analisi per vedere se proprio nulla resti della metafisica meccanicista. Giacchè, pur costretto dalle precedenti argomentazioni a concederci che le diverse forze che agiscono nella natura non siano riducibili ad un unico tipo, un meccanicista ostinato potrebbe obiettarci che gli agenti tra cui queste forze intercedono potrebbero essere in fondo omogenei, nel senso che in tutti potrebbe essere uguale la capacità di essere origine e sostegno delle diverse forme di energia; e allora si potrebbe sempre ritenere che i fenomeni naturali dipendano non da proprietà speciali dei diversi agenti, ma soltanto dalle condizioni esterne del loro mutuo agire, primissima tra le quali il diverso modo di aggruppamento degli elementi ultimi della realtà. La realtà potrebbe esser concepita allora come un aggregato di atomi omogenei, i quali a seconda delle condizioni esterne in cui vengono posti possono esplicare in un modo o in un altro le diverse forme di energia. Noi dobbiamo ora discutere appunto questo gravissimo problema: è possibile risolvere la realtà in elementi omogenei e dedurre tutte le differenze di proprietà da condizioni esterne - oppure è necessario riconoscere delle proprietà aventi radice soltanto nella natura degli elementi?

Le ipotesi intorno alla costituzione della materia, avendo per scopo di spiegare in concreto l'origine e le trasformazioni delle proprietà dei corpi, sono state, come la storia delle scienze dimostra, strettamente legate collo sviluppo della chimica. Cer-

cando un criterio capace di determinar bene ciò che sono gl'*individui chimici*, di distinguer nettamente cioè gli elementi e le combinazioni dalle soluzioni e dai miscugli, si vide che mentre i caratteri qualitativi (p. es. il fatto che nei miscugli i componenti conservano le loro proprietà mentre nelle combinazioni prendono origine proprietà nuove) non erano sufficienti a stabilire un preciso criterio di distinzione, i caratteri quantitativi potevano offrirlo. Così si vide che mentre in un miscuglio si possono far variare, entro larghissimi limiti, le proporzioni delle quantità dei corpi componenti, le combinazioni hanno invece composizione costante: le quantità delle sostanze componenti stanno tra loro in proporzioni definite e precisamente nel rapporto dei pesi equivalenti e dei multipli di questi pesi. La costanza di queste proporzioni - pensò DALTON dopo avere enunciata questa legge che sta alla base della chimica moderna - deve avere un significato oggettivo; le proporzioni fisse secondo cui si combinano gli elementi debbono esprimere i rapporti tra i pesi delle particelle ultime che si aggruppano a formare le combinazioni; quindi bisogna concepire la realtà, come la concepivano LEUCIPPO e DEMOCRITO, come risultante di atomi omogenei, distinti soltanto per figura e peso ed aggregantisi poi per formare tutti i corpi materiali. Di qui il nome di « peso atomico » dato al rapporto tra il peso di ciascun elemento e il peso di uno di essi (l'idrogeno) scelto ad arbitrio come punto di riferimento; di qui anche la così chiara e utile rappresentazione simbolica dei composti mediante formule in cui le lettere e i numeri indicano la specie e le proporzioni rispettive degli elementi componenti. Di qui infine la seguente deduzione teorica fatta dal DALTON medesimo: che siccome una molecola non può contenere che un numero intero di atomi (essendo gli atomi indivisibili), le quantità degli elementi che si uniscono nelle combinazioni stanno tra loro come i pesi atomici *o come i multipli esatti* dei pesi atomici.

Dato il nostro scopo, non è il caso di criticare la teoria atomica dal punto di vista gnoseologico, tanto più che ciò è già stato fatto egregiamente da altri. Nata dal bisogno di quantificare la realtà esterna (1), la teoria atomica conce-

(1) Lo dimostra limpidamente nell'ottimo suo volume « *Essai critique sur l'hypothèse des atomes* » (Paris, 1895) l'HANNEQUIN. La teoria atomica concepisce la realtà sul modello della serie numerica. La serie numerica, essenzialmente discreta, risulta di unità indivisibili, i cui aggregati costituiscono le diverse

pisce la realtà come discreta, risolventesi in elementi indistruttibili, solidi, impenetrabili, indivisibili, immutabili, inattivi, separati da spazî che possono, entro certi limiti, essere aumentati o diminuiti. Con queste assunzioni l'atomismo crede di avere spiegate almeno alcune proprietà geometriche e meccaniche dei corpi; ma veramente di « spiegazione » non si può parlare, perchè non si è « spiegata » una proprietà quando la si è attribuita alle particelle minime di un corpo invece che al tutto: respinto sul terreno dell'invisibile, il problema non è sciolto, ma solo allontanato. Così per spiegare l'impenetrabilità dei corpi l'atomismo ammette che siano impenetrabili gli atomi (1); per spiegare l'indistruttibilità della materia ammette che siano indistruttibili gli elementi ultimi che la compongono; per spiegare l'aumento e la diminuzione del volume dei corpi, cioè l'aumento e la diminuzione della loro estensione nelle tre dimensioni dello spazio, senza aggiunzione di materia, ammette che aumentino e diminuiscano le distanze tra gli atomi; e così via. Sicchè di « spiegazione » non si ha neppur l'accenno; e la giustificazione dell'atomismo non si trova, se mai, altro che nella sua utilità come rappresentazione economica del reale. Ma noi non dobbiamo entrare nella questione gnoseologica, e piuttosto ci domandiamo: quale valore possiamo attribuire all'ipotesi atomica come tentativo di rendere intelligibile la natura esterna e di spiegare i fenomeni che essa ci manifesta?

Intanto prendiamo atto di questo: che l'atomismo, superando il meccanicismo cartesiano, ha pur dovuto concedere agli elementi ultimi reali alcune proprietà che in nessun modo avrebbero potuto essere ridotte ad altro; e non solo attributi metafisici, come l'indivisibilità e l'indistruttibilità, che possono essere predicati di ogni ente veramente reale, nè puramente meccanici, come la resistenza e il moto, ma anche vere qualità fisiche e chimiche, come il peso, l'affinità e la valenza.

---

grandezze. Basta allora « donner un corps à l'unitè » (p. 24), ossia considerare le unità numeriche come inerenti ad una massa, perchè l'atomismo sia fondato. Aggiungiamo noi che è proprio questo il processo seguito dal DALTON nel passare dalla legge delle proporzioni fisse e delle proporzioni multiple alla teoria atomica.

(1) In fondo, l'impenetrabilità della materia non indica altro che l'impossibilità nostra di fondere in una rappresentazioni sensoriali differenti, e bisogna ammetterla quando si concepisce la realtà ultima come estesa, al modo delle nostre rappresentazioni, nello spazio. In concezioni che negano la realtà oggettiva dello spazio, come p. es. il monadismo, il problema non ha più ragion d'essere.

Ma approfondendo il significato di queste ultime qualità, vediamo che peso ed affinità (della quale la valenza è in fondo la specificazione) sono forme di energia, tanto è vero che possono essere trasformate in altre forme di energia; e allora, anche fermandoci a queste sole proprietà che all'atomismo sembrano sufficienti per caratterizzare gli elementi reali, già vediamo che se volessimo formarci un concetto filosofico dell'atomo non potremmo più attribuirgli quei caratteri (estensione e passività) che gli atomisti credono di potergli dare; l'atomo va già risolvendosi in un complesso di forze incentrantisi in una unità, e il porre al di sotto di queste forze un nòcciolo duro, esteso, inattivo sembra aggiunta puerile e inutile sia per la spiegazione concreta dei fenomeni, sia per l'interpretazione filosofica della natura del reale.

Ma procediamo. Anche riconosciute agli elementi reali queste proprietà elementari, la questione principale che dobbiamo risolvere è: gli elementi posseggono tutti *ugualmente* le stesse proprietà fisiche e chimiche, o vi sono delle differenze qualitative ineliminabili? La storia della chimica offre una serie di tentativi fatti dagli scienziati per negare le differenze qualitative tra gli elementi, incominciando dal negare quella differenza che al Dalton stesso sembrò la più importante, la differenza di peso. Basandosi sui calcoli poco precisi del tempo suo, il Prout (1815-16) osservò che se si prendeva come unità di misura il peso atomico dell'idrogeno, i pesi di tutti gli altri corpi erano espressi da numeri interi, cioè multipli esatti del peso dell'idrogeno. Ne dedusse l'ipotesi che l'idrogeno fosse la sostanza primordiale, da cui per successive condensazioni si sarebbero formati tutti gli altri corpi semplici; sicchè il numero esprimente il peso atomico di un elemento indicherebbe i volumi della sostanza primordiale unica condensati in ciascun volume di quell'elemento. L'ipotesi sembrò avere per tutt'altra via una conferma quando, molti anni più tardi (intorno al 1870), le ricerche spettroscopiche ebbero messo in luce il predominio, nei corpi celesti, di pochi elementi, tra cui l'idrogeno e l'azoto, ai quali fu attribuito l'ufficio di elementi primordiali da cui, per successive differenziazioni, nel corso dell'evoluzione cosmica si sarebbero svolti tutti gli altri corpi semplici. Ma le ulteriori più accurate osservazioni sperimentali hanno fatto cadere quest'ardita ipotesi sull'unità della materia, perchè i numeri esprimenti i pesi atomici degli elementi in

relazione all' idrogeno non sono affatto interi (più tardi, anzi, fu per comodità abbandonato l' idrogeno come unità di misura e preso per punto di riferimento il peso atomico dell'ossigeno, fissato convenzionalmente a 16). Qui la storia della metafisica di certi scienziati ci dà un curioso esempio di costruzione fantastica: per conservare ad ogni costo l' idea dell'unità della materia si propose da alcuni di prendere come unità di misura la metà o il quarto del peso atomico dell' idrogeno, facendo l' ipotesi che ogni atomo d' idrogeno fosse alla sua volta formato dalla condensazione di due o quattro sotto-atomi. E neppure bastava: per trovare nei pesi atomici dei varî elementi dei multipli esatti di un' unità di peso, bisognava partire non dalla metà o dal quarto, ma almeno dal *decimo* del peso atomico dell' idrogeno; eliminando così l' ipotesi fin dal campo della verificabilità, perchè le differenze che si dovrebbero riscontrare sarebbero più piccole degli ordinarî errori d' osservazione.

Ma oltre a ciò, noi vediamo nell' ipotesi di Prout un esempio tipico del metodo usato da molti scienziati nella filosofia della natura. Supponiamo pure, infatti, che fosse stata dimostrata la relazione voluta dal Prout tra i valori dei pesi atomici dei varî elementi e quello dell' idrogeno, e supponiamo anche che le altre proprietà dei corpi siano connesse (e, dentro certi limiti che vedremo, lo sono realmente) con le differenze di peso: chi ci autorizzerebbe poi a derivare quelle da queste? Se due atomi d' idrogeno, condensandosi in uno solo, possono dare un atomo di peso doppio, perchè dovrebbe poi questo nuovo atomo, sol perchè è più pesante, possedere proprietà diverse da quelle dei componenti? Un atomo di elio, ad esempio, pesa quattro volte più di un atomo d' idrogeno: che rapporto si può trovare tra questo fatto e tutti gli altri caratteri differenziali dei due elementi? come si può, insomma, *derivare* dal peso tutte le altre proprietà? L' ipotesi è prova di un grande semplicismo, e crede di evitare gravissime difficoltà sol perchè non le affronta.

Eppure questa stessa ipotetica derivazione forma l' idea madre della classificazione degli elementi fondata sulla legge periodica. « Risulta da tutte le nozioni precise che si posseggono sui fenomeni della natura - scrisse Dimitri Mendeleieff nei suoi « Principî di chimica » - che tutte le proprietà di una sostanza dipendono realmente dalla sua massa, perchè tutte

sono funzioni delle medesime condizioni o delle medesime forze determinanti il peso del corpo; e il peso è direttamente proporzionale alla massa della sostanza. È dunque naturalissimo il cercare una relazione tra le proprietà analoghe degli elementi e il loro peso atomico. Tale è l'idea fondamentale che ci obbliga a disporre tutti gli elementi secondo la grandezza del loro peso atomico » (1). Fermiamoci dunque alquanto sul sistema periodico degli elementi, che forma uno dei capisaldi della chimica moderna.

Se disponiamo tutti gli elementi in un quadro e li ordiniamo secondo i valori dei rispettivi pesi atomici in ordine crescente (le differenze tra due successivi sono presso a poco di due o tre unità), si osserva che insieme col graduale accrescimento dei valori dei pesi atomici le proprietà fisiche degli elementi si modificano a grado a grado; ma mentre la serie dei pesi atomici è unica e lineare, la correlativa serie delle proprietà fisiche percorre parecchi cicli o periodi. Di qui l'enunciato della legge: « Le proprietà dei corpi semplici sono funzione periodica dei pesi atomici ». Le proprietà che fu dimostrato essere più o meno nettamente periodiche sono: il punto di fusione dei solidi e di evaporazione dei liquidi, la compressibilità dei solidi, la forma cristallina (con molte eccezioni), l'estensibilità, la dilatabilità, la conduttività pel calore e per l'elettricità, le proprietà elettriche e magnetiche, la durezza, la fragilità, la malleabilità, la variazione di volume in seguito alla fusione, le proprietà ottiche e la valenza. La valenza anzi, ossia il valore di combinazione o di sostituzione degli elementi semplici, fu assunta, come la proprietà più importante, per dividere i corpi semplici nelle diverse famiglie: nel quadro rappresentante il sistema periodico i corpi appartenenti ad una stessa colonna verticale sono chimicamente equivalenti.

Sulla base del sistema periodico era facile, per chi si contentasse di guardare alla superficie, il rinnovare l'ipotesi di una materia omogenea primordiale le cui unità ultime, concentrandosi in vario numero, originerebbero gli atomi dei diversi corpi semplici; e si confermava la tesi che dal grado di concentrazione, espresso dal valore numerico del peso atomico, potessero

(1) Mendeleieff, *Principes de chimie* (trad. franc., vol. II, pp. 460-61; 1ª ediz. russa 1869).

dipendere tutte le altre proprietà dei corpi semplici. Ma le deduzioni erano affrettate. In primo luogo, colla più esatta determinazione dei pesi atomici e col completamento del quadro di MENDELEIEFF si vide che la differenza tra i pesi atomici di due elementi successivi del quadro non era affatto uguale lungo l'intero sistema, perchè oscillava tra meno di una e più di quattro unità. In secondo luogo, le più recenti ricerche hanno mostrate non poche anormalità nell'andamento del sistema: p. es. l'argon, essendo monovalente, va posto nella 3ª linea orizzontale del quadro *prima* del potassio, che è bivalente; nonostante ciò, il peso atomico dell'argon (39, 5) è un poco *maggiore* del peso atomico del potassio (39, 15). Ma l'obiezione più grave circa la supposta correlazione tra il peso atomico e le proprietà fisiche riguarda proprio la natura del sistema: come mai la serie dei pesi atomici cresce linearmente, mentre le proprietà fisiche e chimiche hanno un andamento ciclico? Da questa non corrispondenza nell'andamento delle due serie segue che gli elementi disposti in una stessa colonna verticale, e quindi appartenenti ad una stessa famiglia per uguaglianza di proprietà e soprattutto di valenza, hanno pesi atomici differentissimi, mentre elementi appartenenti ad una stessa linea orizzontale differiscono di poco quanto ai pesi atomici, ma per le proprietà fisiche e chimiche sono molto lontani.

Facciamo, a scopo dichiarativo, qualche esempio, traendolo dai comuni trattati di chimica. E prima riguardo alla valenza. Sono monovalenti il litio (peso atomico 7, 03), il sodio (23,05), il potassio (39, 15), il rame (63, 6), l'argento (107, 93), l'oro (197, 2) e altri; sono bivalenti il berillo (9, 1), il magnesio (24, 36), il calcio (40, 1), lo zinco (65, 4), il mercurio (200), il radio (225); sono tetravalenti il carbonio (12), il silicio (28, 4), lo stagno (119), il piombo (206, 9), ecc.; e così potremmo continuare. Si vede chiaro che in ogni classe di elementi chimicamente equivalenti si trovano i più diversi valori dei pesi atomici. – E per le proprietà fisiche: sono elettropositivi alcuni corpi (litio, berillo, bario) i cui pesi atomici oscillano tra 7 e 12, poi altri (magnesio, alluminio, zinco) con p. a. che oscillano tra 24 e 29, poi altri ancora (calcio, scandio) con p. a. che oscillano tra 40 e 44; viceversa gli intervalli tra i valori ora citati sono occupati da elementi elettronegativi, p. es. ossigeno, fluoro, neon, con p. a. tra 16 e 20; fosforo, zolfo, cloro, con p. a. tra 31 e 36; titanio, vanadio, cromo, manganese, ferro, con p. a. tra 48 e 56, ecc. Lo stesso potrebbe

ripetersi per tutte le altre proprietà fisiche, la duttilità e la fragilità, la fusibilità e volatilità ecc. Molte irregolarità si osservano circa il punto di fusione; p. es. il rame, lo zinco, il gallio, il germanio, che hanno pesi atomici di valori molto vicini, ed hanno alcune proprietà in comune, come l'elettropositività e la duttilità, hanno poi, rispettivamente, i seguenti punti di fusione: 1357°, 692°, 303°, 1200°. E si potrebbe continuare; ma bastano questi esempî per mostrare l'infondatezza dei tentativi di *derivare* le proprietà fisiche e chimiche degli elementi dai valori dei loro pesi atomici; onde le speranze di dimostrare sulla base del sistema periodico l'unità della materia debbono essere svanite.

Qual'è allora, da un punto di vista filosofico e senza andare con affrettate illazioni al di là dei fatti, il significato della classificazione offertaci dal sistema periodico degli elementi? Il sistema periodico ci fa vedere che le proprietà diverse degli elementi sono strettamente connesse tra di loro, non s'incontrano a puro arbitrio, mostrano un ordine, un'armonia, diremmo quasi una certa razionalità; ogni elemento è individuato e da un certo valore del peso atomico (1), e da certe proprietà termiche, ottiche, elettriche, meccaniche, elastiche ecc. Ma questa connessione autorizza forse a considerare una di queste proprietà come fondamento ed origine di tutte le altre? e perchè scegliere per fondamentale la proprietà del peso atomico e non, p. es., il punto di fusione o il grado di durezza? Ecco il solito salto compiuto dalla filosofia della natura di molti scienziati: una connessione, che è pur piena di significato e di valore per l'intelligibilità del mondo esterno, è trasformata arbitrariamente in un rapporto di dipendenza causale inesplicabile, poco razionale ed oscuro. Di questo metodo abbiamo già trovati tanti esempî che non occorre fermarci ancora a criticarlo. Il migliore risultato del sistema periodico è senza dubbio l'aver data una classificazione naturale degli elementi fondata sulle loro proprietà fisiche e chimiche, cioè appunto sul loro aspetto quali-

---

(1) L'espressione « peso atomico » non implica affatto l'accettazione della teoria atomica: il peso atomico è infatti indice di un *rapporto* e non di una realtà oggettiva: esso è ormai un acquisto definitivo della scienza, mentre l'ipotesi atomica, in quanto tentativo di interpretazione realistica della costanza dei rapporti indicati dai pesi atomici, è ipotesi metafisica, e come ogni ipotesi metafisica è soggetta alla critica; può benissimo essere eliminata senza che l'edificio della chimica venga intaccato.

tativo; pretendere di oltrepassare le differenze qualitative per risalire ad un' omogeneità primordiale della materia, è un tentativo illegittimo ed impossibile.

Per compiere il quadro storico dei tentativi di eliminare le differenze qualitative tra gli elementi, dobbiamo accennare ad altre due leggi con cui si cercava di dimostrare che tutti gli elementi posseggono in ugual grado e forma certe proprietà fondamentali: la legge di Dulong e Petit e la legge dell' isomorfismo. Parrà strano ad alcuni che attribuiamo alla legge di Dulong e Petit (enunciata nel 1819) soltanto un valore storico, dal momento che anche oggi in molti trattati è considerata come una delle più importanti leggi della chimica moderna; eppure noi riteniamo non solo che l' interpretazione realistica di questa legge sia sbagliata, ma che troppi nuovi dati permettano ormai di negar valore alla legge stessa. Chiamando « calore atomico » la quantità di calore che bisogna fornire ad un atomo-grammo per elevarne la temperatura di un grado (e si ottiene moltiplicando il peso atomico per il calore specifico di ciascun elemento), la legge di Dulong e Petit afferma che « il calore atomico di tutti gli elementi allo stato solido è uguale » ed è di 6, 4. Se questa legge fosse esatta, com'è facile vedere, una delle proprietà fondamentali dei corpi, la capacità termica, dovrebbe essere uguale in tutti gli elementi, e questo potrebbe portare a pensarne l' identità di natura. A due scopi infatti tendeva questa celebre legge: 1° ad eliminare in uno dei punti più importanti (il comportamento dei corpi di fronte all'energia termica (1)) le differenze qualitative tra gli elementi; 2° a mostrare l' indipendenza di codesta proprietà dalle condizioni esterne, principalmente dalla temperatura. Ma ad ambedue questi scopi la legge è fallita. In primo luogo, non solo le verificazioni successive hanno mostrato che la legge è appena approssimata anche per quegli elementi (i metalli) il cui calore atomico si avvicina al valore 6, 4, ma che molti corpi escono assolutamente dalla legge stessa; p. es. il boro ha per calore atomico 2, 6, il carbonio da 2 a 2, 8, il silicio circa 4 ecc. In secondo luogo, l' indipendenza del calore atomico della temperatura non esiste affatto: ad alte temperature il calore atomico cresce (p. es. il ferro a 535°

(1) È inutile osservare che le proprietà dei corpi sono il loro modo di comportarsi di fronte alle varie forme di energia.

ha un calore atomico di 12, 1), mentre a basse temperature assume valori bassissimi; la legge DULONG e PETIT sarebbe esatta, in certo modo, solo per i corpi allo zero assoluto, perchè a questa temperatura i calori atomici di tutti i corpi sono uguali e nulli: ma questo conferma appunto la stretta dipendenza del calore atomico dalle condizioni esterne. « In queste condizioni - scrive un convinto meccanicista, il NERNST - la regola di DULONG e PETIT sembra avere un carattere del tutto accidentale e in ogni caso sfuggire a tutte le considerazioni teoriche che si potevano fare per collegare il calore atomico col valore numerico 6 » (1).

La legge dell'isomorfismo, enunciata dal MITSCHERLICH nello stesso anno 1819, afferma che « le combinazioni in cui diversi elementi si sono sostituiti reciprocamente seguendo i rapporti dei loro pesi atomici hanno uguale forma cristallina, cioè sono isomorfe ». Anche questa legge aveva la stessa tendenza monistica delle altre: essa tendeva da un lato a far dipendere la proprietà fisica della forma cristallina soltanto dalle differenze quantitativa dei pesi atomici (e si riconnetteva così coi tentativi di PROUT per risalire ad una sostanza primordiale generatrice di tutti gli elementi), dall'altro a stabilire una stretta relazione tra la struttura atomica e le proprietà fisiche delle combinazioni; per questo rispetto la legge dell'isomorfismo precorse le concezioni stereochimiche di cui dovremo occuparci nei capitoli seguenti. È chiaro che l'indirizzo di questa, come delle altre leggi, era rigorosamente meccanicistico: non si allontanava dall'opinione che il *numero* e l'*ordinamento* degli atomi fossero l'origine di tutte le proprietà fisiche dei corpi, e che gli atomi poi, in quanto alla loro *natura*, fossero omogenei. Nè da questo indirizzo e da simili tentativi la chimica è mai più rifuggita. Ma la legge dell'isomorfismo è approssimata e di ristretta applicazione. Anzitutto, se in molti casi si verifica che combinazioni analoghe dal punto di vista dei rapporti dei pesi atomici sono anche isomorfe, non è punto vera la reciproca, che cioè ogni volta che si danno combinazioni isomorfe le loro strutture debbano essere analoghe; e ciò implica già che la relazione tra forma cristallina e peso atomico non sia molto stretta. Ma il colpo più grave alla legge dell'isomorfismo venne dato dalla scoperta del *dimorfismo*, del

(1) V. NERNST, *Traité de chimie générale* (trad. franc., 1911), vol. I, p. 198.

fatto cioè che una *medesima* sostanza può cristallizzare sotto due forme differenti: naturalmente qui non è più possibile riferirsi al valore del peso atomico. E in ultimo ripetiamo che altro è il mostrare una certa regolarità nella connessione delle varie proprietà dei corpi, altro il credere di trovare nell'una la ragion d'essere di tutte le altre.

A quale conclusione ci conducono le analisi fin qui condotte? Che la ricerca di un'unità della materia in cui siano abolite le differenze qualitative tra gli elementi è impossibile; e che perciò è doveroso riconoscere l'esistenza di corpi semplici (il concetto preciso di « elemento » cercheremo di definirlo più oltre) caratterizzati da proprietà fisiche e chimiche tali che non sia possibile derivarli tutti da un'unica materia primordiale. Questa supposta derivazione incontrerebbe anche altre difficoltà quando, volendo assumere il valore di teoria cosmogonica, scendesse ai particolari della vita della materia: perchè non potrebbe rispondere a chi, con pieno diritto, volesse sapere qual'è stata la forma e quali sono state le fasi dell'evoluzione che ha condotto la materia originariamente indifferenziata a specificarsi nei varî corpi semplici. E si è poi proprio sicuri che questo passaggio dall'omogeneo all'eterogeneo non urti contro una legge fondamentale della natura? La legge di degradazione non indica forse che l'eterogeneità è al principio, e non alla fine dell'evoluzione? Ma di questo, che ci porta nell'oceano della metafisica, diremo qualche cosa nelle conclusioni finali; qui ci limitiamo ai dati di fatto, interpretati filosoficamente. Noi non possiamo dire, e non potremo dire mai, quanti e quali siano tutti gli elementi: se oggi se ne enumera ottantuno, non possiamo prevedere se ulteriori indagini aggiungeranno qualche nuovo elemento alla tavola oggi compilata o mostreranno che alcuni corpi ritenuti oggi semplici sono invece composti o sono stati diversi di un medesimo elemento; l'importante è che le differenze qualitative non potranno mai essere negate.

Ma anche una seconda conclusione dobbiamo trarre: ed è che, come dimostra il sistema periodico, gli elementi possono essere raggruppati in famiglie, servendosi come criterio unicamente delle loro proprietà, cioè del loro aspetto qualitativo. Vi è per esempio il gruppo degli alogeni (cloro, bromo, iodio, fluoro), il gruppo dell'azoto e suoi simili (azoto, fosforo, arsenico, antimonio, bismuto), il gruppo del carbonio e suoi simili (carbonio, silicio, germanio, stagno, piombo), il gruppo dei metalli

alcalini (litio, sodio, potassio, rubidio, cesio) ecc.; ciascuna famiglia è individuata da caratteri analoghi per la valenza, il comportamento termico ed elettrico ecc. Non, dunque, elementi dispersi, ma ordinati e raccolti in gruppi; primo e importante esempio di quella distribuzione sistematica in classi che è un carattere proprio del mondo chimico e sarà anche più un carattere del mondo biologico; altri pur significativi esempî incontreremo trattando delle combinazioni, dell' argomento a cui ora dobbiamo passare.

II. Le combinazioni.

Fin qui abbiamo parlato degli elementi; ma abbiamo detto fino dal principio che individui chimici, oltre gli elementi, sono anche le combinazioni. Ad una trattazione filosofica le combinazioni offrono difficoltà gravissime, perchè ci presentano un fatto nuovo, della massima importanza e di non agevole spiegazione: gli elementi, entrando a costituire una combinazione perdono, colla loro individualità, molte delle loro proprietà fisiche e chimiche, e l'individuo chimico che ne risulta presenta per lo più proprietà affatto diverse da quelle dei componenti. Differenti dai miscugli, dal lato quantitativo, per il fatto di possedere una composizione chimica fissa e costante, le combinazioni ne differiscono poi dal lato qualitativo perchè le proprietà dei componenti nel miscuglio rimangono entro larghi limiti inalterate, mentre nella combinazione subiscono alterazioni profonde.

Alcuni esempî non saranno inutili per confermare che le proprietà dei composti non si possono derivare dalle proprietà dei componenti come se ne fossero una somma o una media. Il punto di fusione dello zolfo è a 114°.5, quello del fosforo a 44°.4; il punto di fusione di un loro composto, il persolfuro di fosforo ($P_2 S_5$) è a 274° o 276°: valore che non è nè la somma, nè la media dei due precedenti, e non è neppure più vicino al punto di fusione dello zolfo nella proporzione in cui la quantità dello zolfo, nella molecola del composto, supera quella del fosforo. Così il punto di ebullizione per lo zolfo è a 450°, pel fosforo a 290° e per il persolfuro di fosforo a 510: mentre il punto di fusione del composto è in questo esempio molto più alto della somma dei punti di fusione dei

due componenti, il punto di ebullizione ne è invece molto più basso. Evidentemente le proprietà fisiche del nuovo individuo chimico seguono un'armonia intrinseca ad esso e affatto diversa da quella degli individui chimici componenti. Esempî come questi citati si trovano in tutte le combinazioni; ma noi ne prenderemo un altro alquanto diverso. Un composto del fluoro e dello zolfo è l'esafluoruro di zolfo (SFl_6); a parte i punti di fusione e di ebullizione, si osservi: che il composto di un gaz di colore giallo-verde e di odore irritante, come il fluoro, con un corpo solido di colore giallo o rosso, come lo zolfo, è incoloro e inodoro; che lo zolfo brucia facilmente all'aria o nell'ossigeno, mentre l'esafluoruro di zolfo non è infiammabile; che il fluoro ha una straordinaria affinità con quasi tutti gli elementi, con molti dei quali istantaneamente si combina alla temperatura normale (onde la grande difficoltà di ottenerlo allo stato libero), e lo zolfo ha pure grande affinità con numerosi elementi e coi metalli si combina direttamente, mentre l'esafluoruro di zolfo è chimicamente quasi inattivo, come l'azoto; eppure la quantità di fluoro contenuto nella sua molecola è grande. Il composto è quasi indecomponibile, per quanto se ne elevi la temperatura. Il fluoro si combina coll'idrogeno a temperatura normale e all'oscuro, mentre l'esafluoruro di zolfo, non ostante la grande quantità di fluoro, scaldato con idrogeno non forma acido fluoridrico. In questo esempio, che abbiamo scelto appositamente, constatiamo un caso di completa, radicale trasformazione delle proprietà nel passaggio dai corpi semplici ai loro composti. E in linea generale ripetiamo che le proprietà fisiche e chimiche dei composti (punti di fusione e di ebullizione, colore, forma cristallina, conducibilità termica ed elettrica, grado di attività chimica ecc.) sono indeducibili da quelle dei componenti; non si tratta, nella formazione del composto, di una semplice aggregazione degli elementi componenti: qualche cosa di più e di nuovo deve accadere per il fatto stesso della combinazione. Che interpretazione dobbiamo dare di questo fatto?

Mettiamo anzitutto in chiaro gli elementi sperimentali su cui dobbiamo basarci nella nostra analisi. Nessuna reazione chimica si verifica senza che vi sia una variazione dell'energia totale del sistema che vi ha partecipato, una variazione nella quantità di calore sviluppato od assorbito e nella quantità di lavoro esterno compiuto ed ottenuto; vi sarà reazione esoter-

mica ogni volta che c'è sviluppo di calore, reazione endotermica ogni volta che c'è assorbimento di calore. Molto spesso variano le condizioni energetiche anche rispetto all'elettricità, avendosi sviluppo di energia elettrica (p. es. nelle pile idro-elettriche); altre reazioni chimiche infine si compiono con assorbimento di energia raggiante (p. es. l'azione clorofilliana nelle piante). In linea generale dunque possiamo dire che in ogni processo chimico è necessario che si alterino le quantità delle varie forme di energia possedute dalle sostanze reagenti (pur rimanendone inalterata la somma). Di qui si deduce che il fatto dell'unione delle molecole di elementi differenti esige che ciascuno di essi muti le proprie condizioni energetiche, o, per meglio esprimerci, le proprie potenzialità a svolgere quelle varie forme di attività o funzioni che a noi si rivelano come qualità di energia. Noi riusciamo a misurare queste variazioni energetiche quando si tratta del calore, dell'elettricità, della luce, e, sebbene non facilmente, dell'affinità: ma la modificazione richiesta dal fatto stesso del combinarsi deve involgere tutta la funzionalità delle molecole combinatrici. Come sarà allora possibile continuare a sostenere una dottrina, come quella atomica, la quale ammetta l'immutabilità degli elementi e pretenda di derivare dalla sola forma esteriore del loro raggruppamento l'enorme trasformazione delle proprietà dei corpi semplici nel composto? Tra gli elementi intercedono interazioni profonde, onde essi alterano le loro funzioni e, cessando di esistere come elementi, partecipano alla formazione di un essere nuovo, di un nuovo individuo chimico. Su questo punto dovremo tornare più oltre concludendo questa parte del nostro studio.

Da tale punto di vista anche il problema degli isomeri - i corpi di uguale costituzione chimica ma di differenti proprietà, frequentissimi soprattutto tra le combinazioni organiche - può essere affrontato. La chimica meccanicistica, fedele alla teoria atomica, riporta l'origine del fenomeno alla struttura delle molecole. Due corpi aventi le stesse proprietà devono necessariamente essere uguali nella loro costituzione: infatti ogni analisi chimica parte dall'osservazione delle proprietà, ossia dall'aspetto qualitativo dei composti; se ci sono poi dei corpi (come appunto gli isomeri) aventi uguale costituzione chimica ma differenti nelle proprietà, il meccanicismo non trova altro modo di spiegare la differenza che attribuendola a una differente disposizione degli atomi nella molecola, a una diversità, cioè, dell'architet-

tura molecolare; come con le stesse pietre si possono costruire due edificî differenti pur di disporle, aggrupparle, concatenarle, cementarle in diversa maniera. Ma qui occorre ripetere la critica già in altri casi rivolta a queste illusorie spiegazioni: anche ammesso che si possa constatare (ciò che l'esperienza non ci dice) una diversità di distribuzione e di concatenazione degli atomi nella molecola, come si dimostra poi che tale diversità di ordinamento sia l'*origine* di tutte le altre differenze di proprietà fisiche e chimiche? L'analogia coll'architettura degli edificî è una grossolana rappresentazione materiale, ma non regge; perchè la diversa disposizione delle pietre può benissimo spiegare la *forma* diversa dell'edificio: ma qui non si tratta di spiegare la *forma* diversa delle molecole, ma un complesso di proprietà fisiche e chimiche, come la colorazione, il calore specifico, la conducibilità termica ed elettrica, i punti di fusione e di ebullizione ecc. E perchè, dovendo ridurre a qualcos'altro queste qualità, le riduciamo alla disposizione spaziale degli atomi? Come si può stabilire un legame razionale qualsiasi tra una distribuzione spaziale e una quantità di caratteri fisici e chimici complicati? - Nè basta: che senso ci sarebbe nel dire che se p. es. una data disposizione degli atomi nella molecola è l'origine del colore rosso di un composto, essa al medesimo tempo è l'origine del suo alto punto di fusione, della sua forma cristallina, della sua fragilità, del suo comportamento elettrico ecc.? perchè quella disposizione degli atomi è l'origine comune di tante proprietà diverse? e se è l'origine di una soltanto, di quale lo è, e quale è l'origine di tutte le altre? Tutti problemi che nell'ipotesi meccanicistica restano senza risposta.

Il fatto è che il problema così è mal posto, perchè « spiegare » un carattere non significa « ridurlo a qualcosa di diverso ». L'esperienza invece ci dice che la pretesa immutabilità delle particelle ultime della materia non esiste; in ogni combinazione, dicemmo, si verificano profonde alterazioni nelle condizioni energetiche dei componenti. E allora, se si riconosce la possibilità di tali alterazioni, non c'è da sorprendersi se, usando diversi processi, metodi diversi, in condizioni alterate ecc., pur mediante l'impiego dei medesimi componenti e pur conservandoli nelle identiche proporzioni, si ottengono composti di diverse proprietà; perchè, senza ricorrere all'arbitraria ipotesi di una disposizione spaziale differente degli

atomi nella molecola, la diversità del procedimento seguito e delle condizioni energetiche in cui la reazione si è svolta è sufficiente a spiegare la formazione di unità organiche differenti. Infatti già più volte dicemmo che le proprietà di un corpo sono espressione del suo comportamento di fronte alle varie forme di energia. Se si ammette così la mutabilità degli elementi quando si uniscono per formare il composto, l'origine degli isomeri, come l'origine di tutte le combinazioni, non offre più difficoltà; se invece si tien fermo all'immutabilità degli atomi, non si riesce a spiegare nè gli isomeri nè alcuna combinazione, e ci si riduce ad una concezione che mentre vorrebbe oltrepassare i fatti per cogliere il nòcciolo della realtà, è condannata a rimanere necessariamente infeconda. Certo, alcuni obietteranno che la nostra spiegazione non spiega poi molto; infatti non ha neppure la pretesa nè il desiderio di essere una « spiegazione » nel senso del meccanicismo, nel senso di una « riduzione »: vuol essere un semplice e chiaro rispecchiamento dei fatti, non una deduzione da qualche preconcetta ipotesi metafisica, ma un sostegno delle ipotesi che si potranno in seguito formulare; un'interpretazione dei fenomeni esente dalle difficoltà a cui la concezione atomica va incontro.

Ed ora cerchiamo di addentrarci un poco nel dominio della chimica, per indagare i fatti più importanti dal punto di vista filosofico ed interessanti il nostro studio sull'origine delle differenze qualitative. Noi ci incontriamo anzitutto nella distinzione, riconosciuta fino dagli albori della chimica moderna, tra la chimica organica e la chimica inorganica. Nei tempi recenti si è cercato da molti di negare valore a questa distinzione, considerandola come un avanzo di concezioni vitalistiche oltrepassate; molti autori hanno detto e ripetuto che la chimica organica non è altro che la chimica dei composti di un elemento come tutti gli altri, il carbonio, e che perciò rientra come un semplice capitolo nel quadro indiviso della chimica inorganica. Noi ora ci proponiamo di dimostrare, in primo luogo, come una differenza non trascurabile, non secondaria, tra i due campi della chimica ci sia; in secondo luogo com'essa si accentui anche più per chi abbandoni le teorie vitalistiche. Prima di tutto noi riteniamo che il chiamare la chimica organica « chimica dei composti del carbonio », come fanno non po-

chi trattatisti moderni (1), non sia esatto; se è vero infatti che tutti i composti organici contengono del carbonio, non è vero che tutti i composti del carbonio siano organici: nessuno certamente tratta nella chimica organica nè degli stati naturali del carbonio puro (diamante, grafite, carbone), nè dei sali derivanti dall'acido carbonico (carbonati di calcio, di sodio ecc.), nè dei carburi metallici (p. es. carburo di ferro, di calcio ecc.); e alcuni autori pongono tra i composti inorganici anche i composti del cianogeno (p. es. acido cianidrico, cianuro di potassio, di mercurio ecc.). In tutti questi composti il carbonio non si differenzia, pel suo comportamento, da tutti gli altri elementi studiati dalla chimica; dunque se una parte (sia pure la più numerosa) dei composti del carbonio viene trattata a sè, vuol dire che presenta effettivamente caratteri che la distinguono dagli altri campi della chimica. E caratteri differenziali senza dubbio ci sono. Citiamo: 1° i composti organici si decompongono quasi tutti quando vengono scaldati ad alte temperature, mentre i composti inorganici possono in gran parte essere esposti alle alte temperature senza subire alterazioni (salvo i cambiamenti di stato). Questo implica che i composti organici siano in genere meno resistenti dei composti inorganici; e ciò può in parte spiegare come siano i meglio adatti a costruire quegli organismi continuamente variabili ed evolutivi che sono gli esseri viventi. 2° Nei composti organici si rivela la straordinaria capacità del carbonio di esaurire su sè stesso la propria energia di affinità. È vero che anche altri elementi (ossigeno, idrogeno, alcuni metalli, azoto) hanno l'attitudine a saturarsi con sè stessi; ma nei composti del carbonio quest'attitudine assume grandissima importanza, poichè dà origine a corpi di una straordinaria complessità, di altissimo peso molecolare, ciò che spiega alcune proprietà fisiche dei composti organici (impossibilità di cristallizzazione, lentezza della pressione osmotica) le quali hanno il loro riflesso nei processi vitali (lentezza di molte reazioni chimiche nell'organismo; necessità, perchè si compiano certe decomposizioni, dell'intervento di agenti catalizzatori molto potenti, come i fermenti, ecc.). 3.° Il carbonio ha molta affinità con molti altri elementi; ma i composti organici sono

(1) Le seguenti osservazioni forse sembreranno strane a molti, perchè dopo gli esperimenti sulla sintesi dei composti organici quasi nessuno ha più tentato di difendere la distinzione tra chimica organica e chimica inorganica. Pure noi crediamo che la si debba mantenere.

nella grandissima maggioranza formati di quattro soli: carbonio, ossigeno, idrogeno, azoto; oltre a questi non vi sono che alcuni composti del carbonio cogli alogeni e pochi con zolfo e fosforo. Anche questo dato di fatto pone una notevole differenza qualitativa tra i composti organici e i composti inorganici, pur non vedendosi quale connessione abbia coi fenomeni vitali; certo per altro è sintomatico il fatto di questa relativa unità di composizione delle sostanze organiche di fronte alla varietà degli elementi componenti le sostanze inorganiche. 4° Il numero limitatissimo degli elementi e la ricchezza quasi inesauribile delle combinazioni contribuiscono a rendere di straordinaria frequenza nei composti del carbonio l'isomerìa, che è invece molto rara nella chimica inorganica. 5° Infine, mentre troviamo nella chimica organica dei gruppi di composti che fanno riscontro, come vedremo tra poco, ad altri gruppi della chimica inorganica (acidi, sali, basi), troviamo poi altre famiglie di composti, come gli alcooli, le aldeidi, gli eteri, le ammidi ecc., che non trovano corrispondenti nella chimica inorganica. Ciò vuol dire che, pur essendo gli elementi gli stessi, i loro composti assumono caratteri e svolgono funzioni profondamente differenti, talchè non è possibile negare una differenza qualitativa tra composti organici e composti inorganici.

Questa differenza, dicevamo, riesce anche più marcata quando si nega l'esistenza di una forza vitale specifica. Ciò potrà a prima vista sembrare strano, chi pensi che la distinzione tra chimica organica e chimica inorganica, e i nomi stessi, sorsero proprio sotto l'impulso della corrente vitalistica prevalente nella prima metà del secolo XIX. Eppure, se si parte dal preconcetto che i fenomeni vitali sono resi possibili dall'intervento di una forza *sui generis* non è più necessario ammettere una differenza qualitativa tra le sostanze organiche e le sostanze inorganiche; giacchè quelle medesime sostanze, che nel mondo minerale si comportano come esigono le forze fisiche e chimiche tra esse intercedenti, potrebbero assumere aspetto diverso e diversa funzionalità quando fossero dirette da una forza vitale. La differenza del principio direttivo, in altri termini, rende inutile la differenza delle sostanze; ecco perchè nella concezione vitalistica non è logicamente implicita una profonda separazione tra chimica organica e chimica inorganica. La separazione è invece necessaria quando, abban-

donando l'idea di una forza speciale scendente come un *deus ex machina* a sciogliere l'enigma della vita, si ripone nella diversa natura dei composti l'origine del diverso loro comportamento e dei differenti fenomeni che in essi hanno luogo.

Noi non possiamo discutere in questo luogo la legittimità del vitalismo; i soli dati della chimica non sono sufficienti a controllare il valore di questa ipotesi; ma, qualunque soluzione si dia del problema nel campo biologico, riteniamo che vi sia una differenza qualitativa tra le molecole dei composti organici e le molecole dei composti inorganici, nel senso che, data la loro struttura e le funzioni che esplicano, le prime sono adatte a costituire il materiale onde son formati gli organismi viventi, laddove i composti inorganici per la loro natura e le loro proprietà sarebbero inadatti a tale ufficio.

Dato il concetto che noi ci siamo formati delle combinazioni, si vede che la sintesi dei composti organici, per quanto di grandissima importanza nel campo della chimica, non ha quella portata filosofica che alcuni le vorrebbero attribuire. Poichè la formazione di un composto è sempre la creazione di qualche cosa di nuovo e di radicalmente diverso dagli elementi componenti, la possibilità di formare composti organici mediante la sintesi dei corpi inorganici non depone affatto contro la differenza qualitativa tra composti organici e composti inorganici; indica soltanto che, con opportuni metodi, si possono operare nei corpi inorganici quelle modificazioni che rendono possibile l'insorgenza di nuovi individui chimici qualitativamente diversi dai primi. S'intende che sintesi di composti organici non vuol dire creazione di esseri viventi; tra il mondo chimico e il mondo biologico non c'è continuità, nel senso che è impossibile derivare dalla semplice aggregazione dei corpi chimici l'unità dell'organismo vivente. I caratteri stessi degli organismi dimostrano l'inanità di ogni tentativo di riduzione: essi posseggono una *unità* di struttura e di funzioni, e presentano una differenziazione di organi e una divisione di lavoro che non può esser data dai puri processi chimici. Ma qui entreremmo nel campo dei fenomeni biologici dal quale vogliamo invece astenerci; vedremo più oltre le conclusioni, analoghe a queste, a cui giungeremo occupandoci dello stato colloidale della materia.

Ma, riconosciuta questa prima distinzione fondamentale tra composti organici e composti inorganici, dobbiamo am-

mettere altre differenze qualitative nell' ambito di ciascuna di queste due classi? - Incominciamo dalla chimica inorganica. Ciò che colpisce anzitutto, quando si percorre il dominio di questa scienza, è l'esistenza di certi gruppi di composti definiti mediante la somiglianza delle loro proprietà e del loro comportamento rispetto ad altri composti; questi gruppi (che stanno, per così dire, in un gradino ulteriore rispetto alle famiglie in cui il sistema periodico distribuisce gli elementi semplici) richiamano alla mente, per una certa analogia formale, gli aggruppamenti delle forme animali; ogni gruppo comprende combinazioni che hanno avuto simile origine, hanno in comune alcune proprietà e sono adattate nella stessa maniera alle reazioni cogli altri corpi. Sono questi gli acidi, i sali e le basi; comune a tutti gli acidi è il carattere di mutare il loro comportamento da quando sono allo stato puro a quando sono disciolti nell'acqua: quando sono disciolti attaccano i metalli, provocando la formazione di un nuovo composto (il sale) e lo sviluppo di idrogeno libero, e fanno volgere al rosso la tinta azzurra della carta di tornasole; le basi, aventi sapore alcalino, determinano il mutamento inverso in azzurro della carta rossa di tornasole e tolgono all' acido la proprietà di sviluppare idrogeno in presenza dei metalli; i sali, prodotti dall'azione reciproca degli acidi coi metalli o degli acidi colle basi, sono in genere tutti i corpi inorganici elettrolitici che non sono nè acidi nè basi.

Questi gruppi hanno caratteri specifici onde si distinguono nettamente tra loro; ogni tentativo di dare una spiegazione meccanica di questi caratteri o di eliminarne le differenze essenziali è fallito, o al più non ha fatto altro che respingere il problema più indietro, lasciandolo in ultimo insoluto. Alludo specialmente alle ipotesi fondate sulla dissociazione elettrolitica; si è detto che le proprietà caratteristiche degli acidi, dei sali e delle basi sono riportabili alla loro capacità di dissociazione in ioni (1): la proprietà comune a tutti gli acidi di volgere al rosso la tintura azzurra di tornasole è stata attribuita agli ioni H, comuni a tutte le soluzioni acide; e la proprietà inversa delle basi è stata riposta negli ioni OH od ossidrili, contenuti in tutte le basi (p. es. idrato di sodio NaOH). Dun-

(1) Le nozioni elementari sulla dissociazione elettrolitica sono esposte in breve più oltre a pag. 207-8.

que ogni ione H provoca la reazione acida, ogni ione OH la reazione basica od alcalina; il sale è il risultato dell'azione reciproca tra un acido e una base [1]. Tutto questo può essere verissimo se è posto su basi sperimentali; ma è sciolto il problema fondamentale, o non è piuttosto respinto, ossia, diremo noi, dichiarato insolubile nei termini in cui era stato posto? In realtà, lo spiegare le proprietà di un acido coll'attribuirle agli ioni idrogeno ch'esso contiene è come confessare che quelle proprietà non sono riducibili ad altro, sono proprietà essenziali dei corpi così costituiti, caratteristiche di un certo gruppo di composti e non possono essere, nel senso in cui crede il meccanicismo, « spiegate ». Lo stesso vale per le basi: col dire che le proprietà basiche sono dovute al gruppo ossidrile contenuto nella base, non si è data una « spiegazione » di codeste proprietà, ma si è riconosciuta l'impossibilità di spiegarle derivandole da altro. Così i tre gruppi di composti in cui si spartiscono quasi tutte le combinazioni inorganiche e non poche delle combinazioni organiche presentano innegabili differenze qualitative.

Passiamo alla chimica organica. Già molto tempo prima che fossero sottoposte ad accurata analisi chimica, si solevà raggruppare in una classe molte sostanze appartenenti al regno vegetale, distinte dapprima con caratteri molto empirici, come il gradevole odore (tali l'olio di mandorle amare, il balsamo del tolù, la resina di benzoino, la vaniglia ecc.). Col progredire degli studî si vide che queste e molte altre sostanze da esse derivate presentavano davvero nella loro costituzione caratteri tali da dover formare una grande classe di composti organici, ai quali fu dato il nome di *composti aromatici;* di fronte a questa, venne formandosi una seconda larghissima classe di corpi che riceverono il nome di *composti alifatici* o grassi. La distinzione delle due classi è stata rappresentata dalla stereochimica per mezzo di una differente compilazione delle formule di struttura dei composti dei due gruppi; noi non possiamo attribuire a queste formule alcun valore realistico e dobbiamo interpretarle esclusivamente come rappresentazioni grafiche del modo in cui si suppone che avvenga la saturazione reciproca degli elementi a causa della rispettiva valenza; tuttavia possiamo riconoscere l'utilità di questa

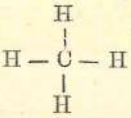
(1) Cfr. Holleman, *Trattato di chimica inorganica* (trad. ital., 1906), p. 90.

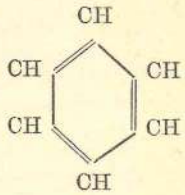
rappresentazione; essa è un indice della diversità qualitativa della struttura ed organizzazione delle molecole nei due casi. I composti della serie alifatica si rappresentano come se la loro molecola costituisse una *catena aperta,* i composti della serie aromatica come se formasse una *catena chiusa;* i primi sono tutti i corpi che si possono considerare come derivati dal metano, gli altri tutti i composti che si possono considerare come derivati dal benzolo (1). Il fatto che il benzolo si possa ottenere scaldando ad alta temperatura un idrocarburo della serie alifatica, l'acetilene ($8(C_2H_2) = C_6H_6$) non toglie nulla alla differenza tra le due classi, poichè la trasformazione chimica è un processo di formazione di nuovi individui chimici, secondo il concetto che noi ne abbiamo espresso.

Ma vi sono caratteri qualitativi che individuano le due classi. Anzitutto i composti aromatici contengono, rispetto ai composti alifatici, molto meno idrogeno, e sono perciò molto più ricchi di carbonio; si confronti ad es. l'acido benzoico, composto aromatico ($C_7H_6O_2$) coll'acido eptilico, composto alifatico ($C_7H_{14}O_2$). Di qui hanno origine molte differenze di proprietà tra i due gruppi. Gli idocarburi alifatici non possono essere attaccati dall'acido nitrico e dall'acido solforico condensati; invece gli idrocarburi aromatici sono attaccati facilmente dall'acido nitrico condensato, dando luogo alla formazione di nitroderivati; e sono attaccati dall' acido solforico condensato dando luogo alla formazione di acidi solfonici. Nella serie alifatica i derivati alogenati reagiscono con molta facilità, mentre nei derivati alogenati aromatici l'alogeno è così intimamente legato al gruppo C_6H_5 (fenile) che le loro reazioni sono molto difficili.

In ciascuna delle due classi principali troviamo poi gruppi individuati da caratteri comuni ben netti, in virtù dei quali il

---

(1) Formula di struttura del metano (CH_4): 

Formula di struttura del benzolo (C_6H_6) secondo Kekulé: 

mondo chimico può essere ordinato in famiglie come il mondo biologico. Così nella serie alifatica, oltre ai gruppi che pel loro comportamento ripetono le proprietà dei gruppi inorganici acidi, sali e basi, troviamo gli idrocarburi saturi (la serie del metano), gli alcooli (composti ossigenati comprendenti, come le basi, il gruppo ossidrile), gli eteri (composti a reazione neutra, derivati dagli alcooli con eliminazione d'acqua, corrispondenti alle anidridi dei composti basici inorganici), le aldeidi e i cetoni (formati per ossidazione dagli alcooli con eliminazione d'idrogeno), gli idrati di carbonio (tra cui gli zuccheri e gli amidi); ciascun gruppo comprende un numero immenso di composti, molti dei quali isomeri, ma ciascuno caratterizzato da uno specifico comportamento. Nella serie aromatica abbiamo i gruppi corrispondenti a quelli della serie grassa: idrocarburi, alcooli, eteri ecc. aromatici, e oltre a questi un gruppo di composti la cui molecola è, naturalmente, a catena chiusa, ma nella quale il ciclo è formato, anzichè di soli atomi di carbonio, di atomi di diversa natura (composti eterociclici); poi il gruppo degli alcaloidi o basi vegetali, infine il gruppo importantissimo delle sostanze proteiche o albuminoidi onde sono costituiti per gran parte i tessuti degli esseri viventi.

Riassumendo e concludendo, nel mondo chimico ci troviamo in presenza di un fatto assolutamente nuovo e importantissimo: non solo abbiamo qui differenze qualitative ineliminabili - come avevamo nel mondo delle energie fisiche - ma anche aggruppamenti in classi, ordinamento gerarchico, il che vuol dire differenze qualitative di diverso grado, di varia entità. Vedemmo nel capitolo precedente che anche i corpi semplici, per quanto siano i più refrattarî ad una classificazione, possono, seguendo il sistema periodico, essere distinti in famiglie sulla base delle loro proprietà fisiche e chimiche; nelle combinazioni la classificazione procede più oltre: entro i due grandi gruppi di composti organici e composti inorganici abbiamo nuove divisioni e suddivisioni, fino a quelle che si potrebbero chiamare le « specie » chimiche, quegli aggruppamenti cioè al di sotto dei quali non stanno altro che gli « individui » chimici. Questo fatto stabilisce una distinzione considerevole tra mondo fisico e mondo chimico. Vero è che alcuni potrebbero obiettarci che anche nel mondo fisico abbiano riconosciuto una gerarchia di energie, e che in ultima analisi anche nel mondo chimico la gerarchia potrebbe essere basata su fenomeni che richiamano

alla mente il secondo principio della termodinamica (1). Pure rispondiamo che il caso è un po' diverso: perchè là trattavasi di energie fisiche le cui trasformazioni accadono sempre in modo da eliminare una certa quantità di una forma superiore di energia per sostituirvene una uguale quantità di una forma inferiore; l'ordinamento gerarchico in forme superiori ed inferiori di energia significava in ultima analisi l'indirizzo evolutivo dei cangiamenti fisici. Qui invece non si hanno gruppi superiori e gruppi inferiori, nè la gerarchia è fondata sulla varia possibilità di trasformazione di un gruppo nell'altro; qui abbiamo diverse classi in cui si distribuiscono quegli agenti dai quali le varie energie sono svolte, e il fondamento della distribuzione sta nel *modo* onde si comportano di fronte alle varie forme di energia, cioè nelle loro proprietà.

D'altra parte non sarebbe esatto l'identificare la classificazione delle sostanze chimiche colle classificazioni degli esseri viventi, per questa innegabile differenza (indipendente anche dalle ipotesi sulla derivazione delle specie organiche l'una dall'altra, intesa come processo effettivamente compiutosi nel tempo): che nel mondo biologico si hanno non solo differenze qualitative e ordini gerarchici, ma anche differenze di valore; alcuni gruppi non soltanto sono diversi dagli altri, ma anche sono più perfezionati, più complessi, più evoluti. Nell'ordine chimico non si può, almeno coi dati suggeritici fin oggi dalla scienza, distinguere gruppi più progrediti e gruppi meno perfetti; soltanto come ipotesi accenniamo che il grande sviluppo della chimica del carbonio, la ricchezza e la varietà dei suoi composti, potrebbe indicare una tendenza della natura a produrre in prevalenza le sostanze costitutive degli esseri viventi. Che accanto a queste permangano le specie chimiche inorga-

(1) Infatti alcune analogie vi sono. I processi chimici mediante i quali da alcuni elementi si ottengono delle combinazioni sono teoricamente reversibili, perchè dalle combinazioni dovrebbero potersi riottenere gli elementi senz'alcuna perdita; ma in realtà è questo un caso limite come il ciclo di CARNOT: la reversione di un processo chimico è possibile solo se si consumano certi agenti (p. es. il carbonio nelle combustioni) dotati di speciale attività. Il WALD (*Kritische Studie über die wichtigsten chemischen Grundbegriffe*, in *Annalen der Naturphilosophie*, Erster Bd., pp. 182-216) enuncia addirittura - ma è esagerato - come legge generale corrispondente al principio dell'aumento di entropia il principio della « diminuzione continua della provvisione naturale disponibile di certi agenti chimici particolarmente attivi ». Nè si obietti che questi agenti si disperdono nell'ambiente ma non si distruggono, perchè, a rigore, anche l'energia non si distrugge.

niche non è un fatto che costituisca obiezione contro la nostra ipotesi, sia perchè non abbiamo parlato (nè sarebbe stato giusto) di derivazione nel tempo dei composti organici dai composti inorganici, come ne parla pel mondo biologico la teoria della discendenza, sia perchè, in ogni modo, si potrebbe rispondere che anche nel mondo biologico accanto alle forme più sviluppate permangono quelle primitive. Se questa ipotesi, che ci limitiamo a timidamente accennare, fosse esatta, potremmo dire che il mondo chimico rappresenta uno degli stadî dell'evoluzione della natura verso la vita.

III. Gli stati della materia.

Tra le scienze della natura esterna ultima in ordine di tempo è sorta e si è svolta la chìmico-fisica, nata dall'applicazione delle teorie e delle leggi fisiche allo studio dei processi chimici. La chimico-fisica, detta anche chimica generale, si occupa di tre argomenti principali: ricerca le leggi generali della correlazione tra la struttura molecolare e le proprietà dei corpi, studia le condizioni che determinano l'insorgere, il conservarsi e il mutarsi degli stati della materia, e indaga le leggi che reggono le trasformazioni di energia concomitanti i processi chimici. Data la natura di questi argomenti, dei due primi soprattutto, si capisce come l'indirizzo meccanicistico abbia trovato largo seguito nel campo della chimico-fisica; ad essa appartengono le celebri *teorie cinetiche* dei tre stati principali della materia, le quali sono forse le più caratteristiche teorie del moderno meccanicismo per il loro atteggiamento di opposizione alla fisica delle qualità. Esse mirano infatti a dare una spiegazione meccanica di quegli *stati* della materia che Aristotele credeva di non potere spiegare altrimenti che facendone delle sostanze, anzi degli elementi.

Veramente non si può dire che le teorie cinetiche siano creazione dei modernissimi cultori della chimico-fisica; fino dal 1738 Daniele Bernoulli aveva enunciato una teoria cinetica dei gaz che nei suoi concetti inspiratori e anche in non pochi particolari è rimasta immutata nella scienza moderna; tuttavia in quell'epoca essa non poteva avere molto sviluppo, perchè, se la fisica era già avanzata, la chimica non aveva ancora mosso

i primi passi. Solo dopo che fu enunciata la legge di Avogadro (1811; « tutti i corpi allo stato gassoso in uguali condizioni di pressione e di temperatura posseggono ugual numero di molecole ») la teoria cinetica dei gaz fu ripresa e svolta; e nell'epoca in cui il meccanicismo celebrava i suoi maggiori trionfi ebbe impulso dai lavori del chimico inglese J. J. Waterston (1845), poi del chimico tedesco Krönig (1856), per ricevere la sistemazione definitiva per opera dei grandi fisici Clausius, Maxwell, O. E. Meyer, Boltzmann. Riassumiamo rapidamente i capisaldi di questa teoria prima di vedere se è in sè stessa coerente e se spiega a sufficienza i fenomeni.

La teoria cinetica suppone che i corpi allo stato di gaz perfetto (il più semplice stato della materia) siano costituiti di molecole a distanza così grande, relativamente alle loro minuscole dimensioni, che sia esclusa tra loro ogni azione reciproca; in tali condizioni il corpo, per così dire, si sfascerebbe. Ma quando le molecole vengono avvicinate (p. es. chiudendo il gaz in un recipiente e diminuendone così il volume) prendono origine delle azioni reciproche *repulsive* che tendono ad allontanarle: le molecole si comportano come se fossero corpi perfettamente elastici (1). Le molecole si muovono con grandissima velocità, mutando direzione in seguito all'azione delle forze repulsive; le diverse velocità oscillano intorno ad un valore medio, detto velocità media, come il percorso corrispondente è detto « percorso medio delle molecole ». - Con questi semplici presupposti la teoria cinetica cerca di spiegare un complesso di fenomeni. La pressione in primo luogo è l'effetto degli urti delle molecole, agitate dal loro continuo movimento, contro le pareti

(1) Alcuni hanno qui accusato di contraddizione logica la teoria cinetica, perchè l'attributo dell'elasticità (che implica la possibilità dell'allontanamento e riavvicinamento delle parti di un corpo) non può spettare alle particelle ultime della materia, che, essendo indivisibili, non hanno parti. Crediamo che l'obiezione sia errata per tre ragioni: 1° che il concetto di elasticità non contraddice al concetto di atomo (come afferma, riferendo delle parole del Wittwer, lo Stallo, *Die Begriffe und Theorien der modernen Physik*, Leipzig, 1911, p. 26), perchè l'atomo è esteso e quindi *ha parti*, le quali possono essere sì allontanate e avvicinate, purchè non siano *separate*, essendo l'atomo *fisicamente* indivisibile; 2° che la teoria cinetica, in ogni modo, non attribuisce l'elasticità agli atomi, ma alle molecole, e concepisce le molecole come un aggregato di atomi, dunque come composte di più parti; 3° infine che la teoria cinetica non dice che le *molecole siano elastiche*, ma che intercedono tra le molecole *delle forze i cui effetti sono analoghi* a quelli delle azioni tra corpi elastici, senza pronunziarsi sulla natura di queste forze. Di contraddizione *logica* non si può dunque parlare.

del recipiente in cui il gaz è racchiuso; e poichè, com'è intuitivo, quanti più sono gli urti tanto maggiore sarà la pressione, così la pressione dev'essere direttamente proporzionale al numero delle molecole, ossia alla densità del gaz (legge di Boyle-Mariotte dedotta dalla teoria cinetica). Viene poi la spiegazione della temperatura: poichè il percorso medio delle molecole aumenta col crescere della temperatura, anche la forza viva molecolare deve crescere; d'onde - col solito passaggio familiare al meccanicismo, per cui ciò che misura un fenomeno è considerato come l'origine e l'aspetto oggettivo di esso - si ricava che l'energía cinetica delle molecole è la causa del calore (1). Infine si spiegano le altre proprietà dei gaz: la diffusione sarebbe l'effetto del movimento di va e vieni delle molecole; l'attrito interno dipenderebbe dal fatto che le molecole agiscono in modo da uguagliare la velocità delle masse gassose vicine; la conduzione del calore dipenderebbe dagli scambî di forza viva tra le molecole, ecc.

Queste leggi e queste spiegazioni erano applicate soltanto al caso-limite dei gaz perfetti fino a quando il Van der Waals introdusse nelle formule tipiche quelle modificazioni che erano necessarie per renderle applicabili ai gaz reali. Le formule di Van der Waals tengono conto del volume occupato dal gaz quando, per la vicinanza a cui le molecole si trovano in seguito all'aumento della pressione, intercedono tra esse delle forze attrattive da cui si origina la *coesione* nei gaz a forte pressione e più ancora nei liquidi. In tal modo si trova, per così dire, l'anello di congiunzione tra lo stato gassoso e lo stato liquido della materia; anche pei liquidi la teoria cinetica ammette che

---

(1) V. Clausius, *Ueber die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen* (in *Poggendorff's Annalen*, 1857). Un modello intuitivo del movimento molecolare e delle leggi dedotte dalla teoria cinetica dei gaz fu offerto da non molto tempo (1905-1908) in seguito alle ricerche sul « movimento browniano » cioè sul movimento vibratorio particolare che presentano le particelle minute di un corpo in sospensione in un liquido (p. es. in alcune soluzioni colloidali). Scoperto dal Brown nel 1827, lo aveva analizzato il Zsigmondi, distinguendovi un movimento vibratorio e, nelle particelle più piccole (4 μ), un movimento di traslazione. Gli ultimi studî hanno dimostrato che la causa immediata del movimento browniano è il movimento traslatorio delle particelle più piccole; queste particelle sospese nel liquido ricevono impulsi da ogni parte di questo e perciò sono in continua agitazione. Secondo i meccanicisti, sarebbe questo un modello ingrandito del movimento termico delle molecole (v. Nernst, *Traité de chimie générale*, vol. I, p. 236). Come si vede, quest'analogia, se permette una facile rappresentazione intuitiva, non ha alcun valore esplicativo.

la forza viva molecolare sia indipendente dalla natura della sostanza e proporzionale alla temperatura assoluta; ma la grande velocità delle molecole e insieme la vicinanza a cui si trovano a causa della forte pressione determinano una delle proprietà più importanti e specifiche dello stato liquido, la tensione superficiale (comprendente come caso speciale la capillarità). Infatti gli urti molto più rapidi delle molecole provocherebbero in esse una tendenza sempre maggiore ad allontanarsi, se questa tendenza repulsiva non fosse controbilanciata da altre forze *attrattive* antagonistiche, le quali impediscono l'esplosione violenta delle molecole e producono lo stato di equilibrio. Rimane in ultimo lo stato solido, il più difficile a spiegare colla teoria cinetica. Il principio fondamentale che l'energia del movimento di traslazione molecolare è proporzionale alla temperatura assoluta e indipendente dalla natura delle molecole, è stato applicato ai solidi con questa modificazione: che il movimento di traslazione molecolare non dev'essere, come nei fluidi, disordinato ed esteso a tutta la massa, ma limitato in modo che ciascuna molecola oscilli intorno a una data posizione di equilibrio (cfr. la spiegazione ora citata della tensione superficiale nei liquidi); sicchè nei solidi le molecole non potrebbero cambiare indefinitamente le loro posizioni. La cristallizzazione poi dipenderebbe dal fatto che le molecole s'incentrano in un punto e vi fanno una specie di costellazione capace di dare un cristallo, e intorno a questo, come a un nucleo centrale, si orientano in numero immenso altre molecole; le diverse direzioni del loro orientamento sarebbero causa delle diverse forme cristalline. In ultimo, per mezzo della forza di coesione molecolare, che nei solidi è molto maggiore che nei liquidi, vengono spiegate molte altre proprietà, come la durezza, la resistenza opposta alla separazione delle parti del corpo e i fenomeni importantissimi dell'elasticità. Accenniamo ancora che si è applicata la teoria cinetica allo studio dei miscugli e delle soluzioni e al fenomeno della pressione osmotica, spiegato meccanicamente come l'effetto degli urti delle molecole della sostanza disciolta contro la parete semipermeabile che la chiude.

Queste le linee principali della teoria cinetica dei tre stati della materia. Scopo principale di essa era di eliminare il più possibile, nella spiegazione dei fenomeni fisico-chimici, il fattore della *natura* propria dei diversi corpi, cercando di dedurre tutte le loro proprietà dalle forme e dalle azioni degli aggrup-

pamenti molecolari. Con questi propositi la teoria cinetica si accordava coi tentativi di risalire dalle differenze qualitative ad un'omogeneità della materia, perchè l'ammettere l'identica natura degli elementi ultimi dei corpi sarebbe stato possibile solo al patto di potere ricavare da condizioni puramente esterne le loro proprietà. È stato raggiunto, ed è in generale raggiungibile questo scopo?

Osserviamo in primo luogo che la spiegazione dei tre stati della materia offertaci dalla teoria cinetica presenta uno dei difetti di metodo più tipici delle varie teorie meccanicistiche: quello cioè di togliere ad una ad una alla materia tutte le sue proprietà, fino a ridurla nello stato più semplice ed elementare, per spiegare poi questo stato (nè è difficile) in base ai principî della meccanica, e credere così di aver dato una spiegazione anche degli stati più complessi e organici della materia. La teoria cinetica ha preso in considerazione anzi tutto i gaz, perchè i gaz rappresentano certamente lo stato più semplice della materia; ma neppure i gaz reali, bensì i gaz perfetti, ossia appunto la materia spogliata di tutte le sue proprietà all'infuori delle proprietà meccaniche: ossia, ancora, non più la materia, ma un modello di sistema reale concepito *a-priori* secondo le esigenze delle teorie meccaniche. Fatto questo, era facile spiegare i fenomeni tipici dei gaz perfetti per mezzo delle sole leggi della meccanica: si può dire anzi che nella mente degli scienziati esisteva *prima* la spiegazione che l'oggetto da spiegare; ma si può dire con questo che la teoria cinetica abbia dilucidata la natura dei tre stati della materia quali noi in concreto sperimentiamo?

Il procedimento qui seguìto è proprio quello a cui lo Stallo ha giustamente dato il nome di « procedimento sintetico »: dal concetto astratto di una materia omogenea ed uniforme fornita di poche proprietà meccaniche elementari si ricavano le differenze qualitative reali per mezzo dell'*aggiunta* successiva delle proprietà fisiche a quel concetto astratto pensato come la realtà primitiva; per mezzo, dice lo Stallo, di una *sintesi* di sostanza ed accidenti (1); col doppio errore di considerare come reale

(1) Stallo, *Die Begriffe und Theorien der modernen Physik*, cit., p. 149. Il nome di « procedimento sintetico » è giusto se si considera, come fa lo Stallo, soltanto l'aspetto *logico* della concezione meccanica; psicologicamente, per altro, il concetto della materia priva di qualità ed omogenea è ottenuto con un processo di astrazione e quindi analitico.

per eccellenza un'astrazione, di dare oggettività ad un concetto ottenuto spogliando la realtà sperimentabile di tutto ciò che la rende sperimentabile e supponendo che, dopo questo processo astrattivo, rimanga un qualche cosa, un nocciolo che mentre sfugge alla nostra esperienza, costituirebbe poi la realtà per sè stante; e d'altro lato di credere che da questa supposta realtà priva di differente qualitative e considerata come un *prius* possano ricavarsi in tutta la loro ricchezza i reali concreti oggetti della nostra esperienza. Perchè non basta affermare che dalla semplice distribuzione diversa e dal diverso modo di collegamento e di moto delle particelle ultime dei corpi derivino tutte le differenze qualitative; l'esistenza di un certo parallelismo tra alcune ed altre proprietà non è, al solito, motivo sufficiente per dedurre la dipendenza delle une dalle altre. Poichè questa critica è già stata da noi svolta in più luoghi, non crediamo utile insistere ancora su questo ostacolo insuperabile del meccanicismo.

Ma a questa critica generale e di metodo, un'altra ritengo che si debba connettere, riflettente i risultati stessi della teoria cinetica: questa teoria non rende conto dei fenomeni per spiegare i quali venne escogitata, se non in astratto; e quando si tratta di spiegarli nei diversi casi concreti, si è costretti a richiamare in campo ciò che si era voluto eliminare, cioè appunto i fattori qualitativi, la natura propria dei varî corpi. Concediamo pure che, in base alle teorie cinetiche, si possano « spiegare » i fenomeni della fusibilità e della volatilità, la duttilità o fragilità dei corpi solidi, la diffusione dei liquidi e dei gaz e i fenomeni di osmosi, la viscosità e la tensione superficiale, la precipitazione dei corpi in soluzione e la formazione dei cristalli. Ma quando si tratta di spiegare in concreto perchè un corpo abbia un determinato punto di fusione o di evaporazione, perchè abbia una certa temperatura critica (e quindi perchè temperatura e pressione si trovino in quel dato specifico rapporto), perchè ogni solido abbia un dato grado di duttilità e di fragilità e un dato grado di durezza, e quale sia per ciascun liquido e ciascun gaz la rapidità della diffusione, quale per ogni liquido il coefficiente di viscosità, di tensione superficiale e di capillarità, perchè un dato solido debba precipitare in una speciale forma cristallina e non in altra o non precipiti amorfo - quando si tratta di rispondere a tutte queste domande che riflettono il dominio concreto della nostra esperienza, non

si riesce a dare ai problemi una soluzione soddisfacente se non riconoscendo che interviene *oltre* al fattore delle condizioni esterne il fattore della *natura propria* di ciascun corpo, che il comportamento dei varî individui chimici *nelle stesse condizioni esterne* è diverso, che ognuno possiede una propria specifica maniera di svolgere le energie fisiche. E allora, quale vantaggio avranno recato le teorie cinetiche se il fattore qualitativo non è eliminabile? - La teoria cinetica, dicemmo, ripone nella forza viva molecolare la causa del calore; ma ogni corpo ha un calore specifico; dunque le molecole di ciascun corpo si comportano in maniera specifica di fronte all'energia cinetica, posseggono una propria quantità di forza viva; e che significato ha questo comportamento specifico, se non di una proprietà che differenzia tra loro i varî corpi? Le differenze qualitative, tolte da una parte, riappariscono da un'altra: prova questa che sono realmente ineliminabili.

Sempre tra le critiche di carattere generale, ma da un punto di vista più tecnico e riflettente la coerenza intima della teoria cinetica, possiamo aggiungere quest'osservazione: la teoria cinetica suppone che le molecole di un gaz perfetto si trovino in continuo movimento e deve ammettere che nel turbinìo onde sono agitate non si raggiunga mai lo stato di equilibrio, il quale corrisponderebbe all'assenza di temperatura (zero assoluto) e nel quale non si potrebbe più parlare di pressione come effetto degli urti delle molecole. Ora questa tesi è assurda sia dal punto di vista dinamico, perchè finirebbe coll'ammettere la possibilità del moto perpetuo, sia dal punto di vista energetico, perchè consisterebbe nel ritenere che nell'interno del gaz si abbia una continua creazione di energia *anche quando il gaz si trova in uguali condizioni termiche coll'ambiente esterno* (in modo che non possono intervenire scambi di energia tra il gaz e l'ambiente). A questa difficoltà gravissima pare che si sia voluto ovviare da alcuni allargando la nozione di equilibrio e parlando gli uni di un « equilibrio dinamico », gli altri di un « equilibrio statistico »; nè in tali nozioni vi è nulla di assurdo fisicamente nè sperimentalmente (l'equilibrio statistico si osserva spessissimo nei fenomeni sociali, la demografia ce ne mette in luce numerosi esempî); ma chi non vede che adottando questi concetti ci si porta lontanissimo dal puro meccanicismo? Un equilibrio come quello che si può stabilire con relativa approssimazione tra le nascite e le morti in una città, non ha

per nulla quel rigore e quella precisione matematica che deve avere l'equilibrio meccanico. E poi bisogna pensare che nessuno può ancora dire se nei fenomeni biologici e sociali si riscontrino davvero le stesse leggi di conservazione e di degradazione che trovano applicazione rigorosa nei processi fisici e chimici; essi sono ancora troppo poco approfonditi perchè alcuno si ritenga autorizzato a trasferire nella scienza della natura esterna i concetti inspiratori delle scienze biologiche e sociali. Intanto è sintomatico il fatto che ad un'epoca in cui si faceva ogni sforzo per dare un' interpretazione rigorosamente meccanica dei fenomeni sociali, ne sia succeduta un'altra in cui si cerca di chiarire i fatti fisici coll'aiuto di concetti astratti dai fatti del mondo umano.

Il certo è che per poter mantenere nel suo rigore la teoria cinetica bisognerebbe imaginare che i gaz si trovassero nelle condizioni meccaniche ideali richieste per lo svolgersi di un processo perfettamente reversibile (condizioni che nella realtà non si possono verificare): bisognerebbe che le molecole si muovessero nel vuoto assoluto, senz' attrito, senza urto (perchè l'urto trasformerebbe una parte dell'energia cinetica in energia termica che non potrebbe essere ritrasformata in energia di movimento), e perciò bisognerebbe che la massa gazosa fosse isolata da ogni altro corpo; ma in queste condizioni che significato avrebbe più la pressione e come si spiegherebbe? Ecco che la teoria cinetica, per essere rigorosa, va applicata ad uno stato della materia irrealizzabile e diviene perciò stesso infeconda; e per farla applicabile agli stati reali occorre introdurvi concetti così lontani dal meccanicismo che la trasformano e trasfigurano interamente.

Aggiungiamo in ultimo alcune critiche speciali. La teoria cinetica dei liquidi si trova nella grave difficoltà di spiegare il fenomeno della tensione superficiale; qui si manifesta una coesione tra le molecole che è inesplicabile finchè si riconoscono tra le molecole, come la teoria cinetica a rigore esigerebbe, soltanto delle forze ripulsive. L' azione delle forze ripulsive dovrebbe avere per effetto l'esplosione violenta delle molecole del liquido, a causa della loro vicinanza, e quindi la disgregazione del corpo; ma ciò che si osserva è proprio il contrario. L'importanza dei fenomeni della tensione superficiale è andata ancora aumentando negli ultimi tempi dopo la scoperta di uno stato intermedio tra quello liquido e quello cristallino,

lo stato offertoci da molte sostanze, per lo più organiche, detto dei « cristalli liquidi »; così p. es. se si guarda al microscopio una certa quantità di oleato di ammonio, in date condizioni si osservano nel liquido delle agglomerazioni di materia aventi da un lato la struttura e le proprietà ottiche dei cristalli, dall'altro deformabili molto più dei cristalli che si ottengono facendo precipitare un solido disciolto, e capaci anche di essere rifusi nel liquido circostante. Non solo questi fenomeni, ormai, come vedremo più volte, studiati in gran numero, hanno accresciuto l'importanza della tensione superficiale, ma ne hanno anche allargato il concetto, giacchè il manifestarsi della tensione alla superficie dei liquidi non è che un caso particolare di una classe ben più vasta di fenomeni. Ebbene, come scioglie la difficoltà la teoria cinetica? Semplicemente: ammettendo, accanto alle forze repulsive, delle forze attrattive: le quali, agendo tra le molecole, le unirebbero in modo da formare uno strato resistente [1]. Ognuno vede che con questi metodi si possono sciogliere di colpo tutti gli enigmi della natura. Ma più ancora dell'arbitrarietà della spiegazione, a noi interessa il notare che coll'attribuire tante forze alle molecole si finisce col restituire a poco a poco alla realtà quelle qualità che se ne erano eliminate.

Un altro ostacolo per la teoria cinetica è la spiegazione dello stato amorfo dei solidi alle temperature ordinarie. Dicemmo già che le direzioni diverse in cui si dispongono le molecole sarebbero, secondo la teoria cinetica, la causa delle varie forme cristalline; in base a quest'ipotesi i cristalli vengono detti « corpi anisotropi », mentre gli amorfi, nei quali le molecole sono orientate senza direzioni speciali, son detti « corpi isotropi ». Ma come si spiega la differenza essenziale tra l'isotropia e l'anisotropia molecolare? È ragionevole il supporre che allo zero assoluto, quando il moto delle molecole è estinto, e quindi esse non si distribuiscono più in determinate direzioni, il corpo sia amorfo; ma alla temperatura ordinaria quale ostacolo impedisce l'anisotropia? Non c'è che riferirsi alle proprietà possedute in date condizioni dai varî corpi. Qui vediamo un esempio di un genere di spiegazioni spesso dato dal meccanicismo: la forma regolare dei cristalli si crede che sia chiarita colla semplice assunzione che le molecole si siano disposte nelle direzioni corrispondenti alle linee

(1) V. Nernst, *Traité de chimie générale*, vol. I, p. 243.

di formazione dei cristalli. Ma quello che importa è di spiegare il perchè le molecole si dispongano in quelle date e non in altre direzioni o in nessuna direzione: e qui non si può evitare di riferirsi alle proprietà delle particelle ultime dei corpi.

D'altra parte, la scienza è così feconda nelle sue scoperte, che le vecchie teorie troppo rigidamente sistematiche si trovano presto alle prese coi risultati di nuove indagini, impreveduti e spesso incapaci di essere collocati negli schemi disegnati da quelle teorie. Vedremo più oltre come il vecchio concetto di elemento chimico si sia trovato in urto colle scoperte recenti sulla radioattività; vediamo ora come la teoria cinetica si trovi in dissidio colle più recenti ricerche sugli stati della materia. La teoria cinetica, infatti, prevede soltanto i tre classici stati, gassoso, liquido e solido, e nello stato solido riconosce, come proprî ed esclusivi della solidità, uno stato cristallino ed uno amorfo. Ma si paragonino, ad esempio, i seguenti corpi: una soluzione satura di cloruro di sodio, nell'atto in cui la sostanza disciolta, per evaporazione del solvente, passa allo stato cristallino, con una soluzione satura di oleato d'ammonio nell'alcool; nel primo caso abbiamo una sostanza che cristallizza passando dallo stato di soluzione allo stato solido, nel secondo abbiamo il già rilevato fenomeno dei cristalli liquidi. In ambedue i casi ci troviamo di fronte ad uno stato che può dirsi intermedio tra quello liquido e quello solido; eppure, quali differenze! Nel primo caso lo stato intermedio è semplicemente una forma di passaggio tra lo stato liquido e lo stato solido, un momento del divenire fisico; nel secondo caso lo stato intermedio, quello dei cristalli liquidi, rappresenta in fondo uno stato speciale della materia, sebbene per la sua scarsa frequenza non lo si possa porre al fianco dei tre stati principali; uno stato in cui non tutte le sostanze possono trovarsi, e in cui alcune si trovano solo in speciali condizioni. Per tali caratteri non crediamo che sia sufficiente la spiegazione che si tenta dare dei cristalli liquidi in base alla teoria cinetica: secondo i cinetisti, le forze che orientano le molecole quando formano i cristalli possono essere più o meno intense: quando sono molto intense, producono i cristalli solidi, quando sono meno intense i cristalli plastici (p. es. di canfora, di ioduro d'argento al di sopra della temperatura di trasformazione), e quando sono debolissime i cristalli liquidi (di cui possiamo dare due esempî

tipici distinti nei cristalli a forma di doppia piramide allungata del citato oleato d'ammonio sciolto in alcool, e nelle gocce birifrangenti di p-azossifenetolo nell'olio d'oliva). Ma se fosse così, poichè le forze molecolari determinanti l'anisotropia in un cristallo solido diventano più deboli quando, p. es. per l'aumento della temperatura, il corpo fonde, noi dovremmo osservare i cristalli liquidi ogni volta che facciamo fondere dei cristalli solidi: e così cadrebbe appunto quella differenza tra «forma di passaggio» e « stato speciale della materia» a delucidar la quale abbiamo in principio citati i due casi della soluzione di cloruro di sodio in acqua e della soluzione di oleato d'ammonio in alcool. Ma l'esperienza contrasta a questa deduzione: la massima parte dei corpi che cristallizzano allo stato solido non presenta il fenomeno dei cristalli liquidi. Quali sono le sostanze in cui finora si è riscontrato questo speciale stato della materia? Possono esser divise in due gruppi: in un gruppo stanno quelle che si comportano come l'oleato d'ammonio, e sono gli oleati di potassio, di sodio, di metilammina, di dimetilammina, di trimetilammina e di colesterina, e molti composti di colesterina e di ergosterina (propionati, butirrati, glicolati, coprinati); nel secondo gruppo stanno quelle che si comportano come il p-azossifenetolo, e sono il p-azossianisolo, gli eteri etilici degli acidi p-azossibenzoico e p-azossicinnamico, il p-diacetossistilbene clorato e alcune altre. Si scopriranno cristalli liquidi ancora in altre sostanze? Non è difficile; per ora osserviamo che le sostanze in cui finora sono stati scoperti sono tutte organiche e di struttura molto complessa; ciò sarebbe indizio che questo stato della materia è connesso con altre proprietà fisiche di alcuni gruppi di corpi.

Fermiamoci ora sopra un altro esempio. Si paragonino anche qui due corpi: lo zolfo plastico, ottenuto scaldando dello zolfo a circa 300° e colandolo poi in un recipiente contenente acqua fredda, con una soluzione di ossido ferrico o con dell'albumina: il primo caso è esempio dello stato amorfo di un corpo solido che può anche cristallizzare in altre condizioni; nel secondo caso abbiamo sostanze che non cristallizzano mai, che si comportano anzi, per molti rispetti, in maniera opposta a quella dei corpi cristallizzabili, tanto che il Graham ne fece una classe a sè per lo speciale stato che le caratterizza: a questo stato il Graham, prendendo come esempio tipico la colla forte,

diede il nome di *stato colloidale della materia* (1). Oggi gli studî sullo stato colloidale della materia sono molto progrediti e formano uno dei capitoli più interessanti della chimica; ma non si può dire che la natura di tale stato sia ancora molto chiara. Alcuni cercano di ridurre lo stato colloidale ad altri già conosciuti e più semplici: fu detto anzitutto che le soluzioni colloidali (p. es., oltre a quelle citate, l'amido, la destrina, la gomma, il tannino, le soluzioni recentemente ottenute col platino, col selenio, con l'argento) non sono vere soluzioni, ma miscugli allo stato di emulsione. Se non che, un carattere differanziale generale tra sospensioni ed emulsioni da un lato, e soluzioni dall'altro, è che le prime non esercitano alcuna pressione osmotica (almeno apprezzabile coi nostri dializzatori), mentre le soluzioni esercitano pressione osmotica. Ma le soluzioni colloidali esercitano pressione osmotica, sebbene la loro velocità di diffusione sia molto più lenta di quella delle soluzioni di corpi cristallizzabili (2). A questo argomento altri rispondono da un lato che questa lentissima diffusione potrebbe esser dovuta ad impurità contenute nel solvente, dall'altro che c'è un carattere che avvicina le soluzioni colloidali alle emulsioni: mentre nella soluzione di un corpo cristalloide i punti di congelazione e di ebullizione del solvente vengono spostati in seguito alla presenza della sostanza disciolta, nelle soluzioni colloidali, come nelle sospensioni ed emulsioni, rimangono sensibilmente inalterati. La discussione sulla natura dello stato colloidale non ha ancora condotto a concludere; tutte le ipotesi avanzate incontrano delle difficoltà. Ma nel fondo a tutte le teorie rimane indiscutibile questo fatto: che, qualunque sia la natura intima dei colloidi e quali che siano i corpi a cui vanno avvicinati, lo stato colloidale presenta caratteri che lo differenziano alquanto da tutti gli altri stati della materia. Certi fenomeni, come la duplice forma di « soli » e « geli » in cui i colloidi esistono, negli altri stati della materia non trovano riscontro.

Ma noi vogliamo richiamar l'attenzione sopra un altro carattere differenziale tra i cristalloidi e i colloidi, importan-

---

(1) Veramente il GRAHAM chiamò « colloidi » una classe, non uno stato di sostanze.

(2) Il NERNST (op. cit. vol. I, p. 480) cita dal GRAHAM i seguenti valori del tempo di diffusione nei cristalloidi e nei colloidi a + 10° di temperatura, riferiti al tempo di diffusione dell'acido cloridrico: *Cristalloidi:* acido cloridrico 1; cloruro di sodio 2,33; zucchero 7; solfato di magnesio 7. *Colloidi:* albumina 49; caramella 98.

tissimo dal punto di vista filosofico. Ai mutamenti che avvengono nei cristalloidi conviene bene il nome di *trasformazioni* in questo senso: che quando si verifica un cambiamento di stato, nello stato nuovo assunto dal corpo non rimane traccia dello stato precedente; se p. es. si fa evaporare un liquido, il gaz che si svolge non serba traccia dell'essere prima stato liquido, e se lo si fa di nuovo tornare un liquido, questo non subisce le conseguenze dell'essere stato un gaz; la trasformazione è, in questo senso, reversibile, pur verificandosi le dispersioni di energia richieste dalla legge di degradazione. Invece i mutamenti dei colloidi avvengono in modo che nello stato nuovo si conservano tracce dello stato precedente; lo stato precedente fa sentire la sua efficacia sul successivo, e quindi ciascun momento agisce su tutta la serie posteriore dei cangiamenti. Anche qui avvengono insieme le dispersioni di energia; ma accanto alla degradazione accade qualcos'altro: e noi non sappiamo meglio indicare questo qualcos'altro se non dicendo che le trasformazioni dei colloidi sono *evoluzioni*. Già gli stessi fenomeni puramente fisici di soprafusione e di sottoraffreddamento, eccezionali nei cristalloidi, sono normali nei colloidi: una gelatina liquida, fatta raffreddare, conserva lo stato liquido o di « idrosole » anche dopo oltrepassato il punto di fusione finchè si giunge al punto di congelamento in cui si trasforma in solido o « idrogelo », e reciprocamente. Lo stato anteriore agisce sui successivi limitando l'azione delle condizioni esterne. Fu detto da alcuno che nei colloidi ogni mutazione accade come se il sistema fosse provveduto di un « apparecchio di smorzamento » (1), ma meglio sarebbe dire che ciascun momento nella vita di un colloide impone ai cangiamenti successivi una direzione determinata. Sistemi evolutivi, dunque; ma anche sistemi che godono, al paragone dei cristalloidi, di una certa autonomia, provvisti di una forma di spontaneità di cui gli altri corpi son privi; non sono più un puro e passivo punto di appoggio delle energie fisiche, c'è in loro una forma di attività con cui le energie fisiche debbono cimentarsi. Ora questi due caratteri, di conservare traccia delle modificazioni subìte e di godere di una certa autonomia e spontaneità, sono tipici della sostanza vivente. E i colloidi sono appunto il materiale fondamentale onde gli organismi viventi sono costruiti. Ponendosi, colla lentezza delle

(1) Bottazzi. *Principî di fisiologia*, vol. I. Elementi di chimica-fisica (Milano, 1906), p. 317.

loro trasformazioni, al di fuori di ogni equilibrio chimico, possono essere accumulati sì da formare le riserve nutritive senza che la loro presenza disturbi le complicate reazioni chimiche svolgentisi nei tessuti degli organismi; la loro relativa stabilità e il loro carattere evolutivo spiegano la natura del substrato chimico dei processi vitali (1).

Lo studio della chimica ci ha così, in ultimo, condotti ai confini della biologia; e qui ci arrestiamo, perchè non possiamo invadere questo nuovo campo. Solo ci permettiamo di osservare, richiamando osservazioni già fatte e riassumendole, che col negare l'esistenza di una specifica forza vitale nel senso in cui l'ammettono i vitalisti, si viene a riconoscere sempre più l'irriducibile differenza qualitativa tra le sostanze organiche e lo stato fisico in cui queste prevalentemente si trovano, da un lato, e le sostanze inorganiche e i loro più comuni stati fisici dall'altro. È vero che lo stato colloidale non è esclusivo delle sostanze organiche, e che non tutte le sostanze organiche sono colloidi; ma è pur vero che senza colloidi non sarebbe possibile costruire un organismo, e che di colloidi è formato il protoplasma cellulare. Nè d'altra parte, come già accennammo, vogliamo concedere che basti l'ammettere la differenza profonda tra sostanze organiche e sostanze inorganiche per spiegare il fatto della vita; ma, pur senza toccare un problema che esce da quelli che è nostro compito discutere, ci è necessario riconoscere la specificità delle sostanze costitutive degli organismi viventi pei caratteri di evoluzione e di autonomia che le distinguono dalle sostanze onde è costituito il rimanente della natura.

IV. Le ipotesi dinamistiche.

Prima di passare alle nostre conclusioni intorno al concetto d'individuo chimico e al modo d'intendere le teorie della chimica moderna, è necessario che ci fermiamo qui ad esporre rapidamente e a discutere le recentissime ipotesi sulla costituzione della materia, sebbene ricerche fisiche più che ricerche chimiche siano servite a fondarle; e ciò è necessario sia per l'importanza, anzi per la popolarità di queste nuove dottrine, sia perchè dei fenomeni di recente scoperta dovremo tener conto nel formulare il concetto d'individuo chimico. Sono queste le *ipotesi dinamistiche*.

---

(1) Cfr. LEONARDO CASSUTO, *Lo stato colloidale della materia* (Pisa, 1911), p. 222.

Nella storia della scienza e della filosofia sono registrate parecchie ipotesi dinamistiche sulla costituzione della materia; ne troviamo tracce fino nei presocratici, più tardi nei neoplatonici; ma nella filosofia moderna il dinamismo ha trovato la sua prima completa espressione nella monadologia di Leibniz. Spettava per altro a Ruggero Boscovich di porre sulle basi di una concezione dinamistica la fisica elaborata dai grandi scienziati del seicento e settecento fino a Newton; se la costruzione leibniziana appartiene alla storia della metafisica, la teoria del Boscovich rientra nella storia delle ipotesi scientifiche, sebbene in realtà non dati sperimentali, ma piuttosto esigenze razionali ne avessero dettati i principî. Il Boscovich pensava gli elementi della realtà come agenti di esistenza puntuale, inestesi, perfettamente omogenei, la cui natura si risolveva interamente nelle forze che potevano esplicare; queste forze si riducevano per lui all'attrazione e alla ripulsione, origine e fondamento di tutte le altre. Se gli agenti reali erano inestesi, non per questo egli negava ogni estensione in genere, perchè ammetteva, fedele seguace di Newton, l'oggettività dello spazio, e i centri di forza credeva separati da distanze spaziali, come l'atomismo ammette per gli atomi; gli aggruppamenti dei centri di forza davano poi origine alla parvenza della materia colle sue differenze qualitative.

Non ostante il grande prevalere dell'atomismo, la dottrina dinamistica fu spesso coltivata da alcuni grandi scienziati; ve ne è un accenno notevole, sebbene non molto svolto, nel Faraday; e il Fechner, partitosi da una sagace critica dell' atomismo, giunse ad una consimile concezione (1). Ma fino agli ultimi tempi non si ponevano risultati sperimentali alla base di queste concezioni; solo dopo il grande sviluppo degli studî sull'elettricità venne formandosi, e solo da pochi anni può dirsi interamente svolta, una teoria « elettrodinamica » sulla costituzione della materia.

Il fenomeno che è stato il punto di partenza delle nuove idee è quello dello « dissociazione elettrolitica ». Facendo passare una corrente elettrica nell' interno di una soluzione di acido cloridrico, p. es., nell'acqua, si osserva che l'idrogeno e il cloro si dissociano e vanno a depositarsi sugli elettrodi tra

(1) Fechner, *Ueber die physikalische und philosophische Atomenlehre* (2. Aufl., Leipzig, 1864).

cui passa la corrente: le particelle di cloro, rese libere, risalgono all' elettrodo donde l' elettricità positiva penetra nella soluzione (anodo), mentre le particelle d' idrogeno discendono a depositarsi sull' elettrodo donde la corrente esce (catodo). Il fatto si spiega ammettendo che ciascuna molecola della sostanza dissociata, o elettrolita, è composta di particelle aventi cariche opposte, le quali, siccome si rendono mobili dopo la dissociazione, vengono dette con parola greca « ioni », e precisamente « anioni » le particelle cariche d'elettricità negativa che vanno a depositarsi sull'elettrodo positivo, « cationi » le particelle cariche d'elettricità positiva che vanno a depositarsi sul catodo. Le molecole non ancora dissociate permangono allo stato neutro, essendo composte di alcune particelle con cariche positive ed altre negative. Il FARADAY enunciò pel primo le leggi fondamentali dell' elettrolisi: 1ª la quantità di elettricità che attraversa un liquido è proporzionale alla quantità di materia depositata sugli elettrodi. Per spiegare questa proporzionalità fu ammesso che tutti gli ioni, positivi e negativi, posseggono cariche elettriche quantitativamente uguali; di qui infatti, essendo la corrente elettrica nella soluzione nient'altro che il movimento degli ioni, segue subito la legge di proporzionalità suddetta. 2ª Le quantità di due elettroliti dopo la decomposizione per opera della corrente sono proporzionali ai rispettivi equivalenti chimici. Per coordinare questa legge alla teoria degli ioni fu ammesso che tutti gli atomi monovalenti abbiano una carica quantitativamente uguale, tutti gli atomi bivalenti una carica doppia e così via. Donde il nome di « valenza elettrica », che non è peraltro proprietà fissa per ciascun elemento, ma varia, in gran parte, a seconda della combinazione (1). Inoltre la dissociazione elettrolitica non si comporta sempre nella stessa maniera della dissociazione ordinaria (2).

---

(1) Esempio: Vi sono due cloruri di rame, nell'uno dei quali l'atomo di rame è monovalente (Cu_2Cl_2), nell'altro è bivalente ($CuCl_2$); facendo la dissociazione elettrolitica, nella prima soluzione la quantità di rame depositata sul catodo è doppia di quella depositata nella seconda soluzione, mentre la quantità di cloro depositata sull'anodo è uguale nei due casi. Altro es.: $FeCl_2 = \overset{++}{Fe} + \overline{Cl} + \overline{Cl}$; $FeCl_3 = \overset{+++}{Fe} + \overline{Cl} + \overline{Cl} + \overline{Cl}$).

(2) Esempio: il cloruro d'ammonio, NH_4Cl, per la dissociazione elettrolitica si scinde negli ioni $\overset{+}{NH_4}$ e $\overline{Cl}$, mentre nella dissociazione ordinaria si scinde in NH_3 e HCl (v. NERNST, *Traité de chimie générale,* trad. franc., vol. I, p. 420).

Se ci domandiamo in che gli ioni differiscano dalle molecole ordinarie, possiamo ora rispondere che, quanto alla loro natura, ne differiscono solo in questo, che posseggono una carica elettrica positiva o negativa; e, quanto alle loro proprietà, hanno tutte quelle delle molecole più le proprietà elettriche. Ma le cariche elettriche, come vedemmo per le leggi di FARADAY, da un lato non dipendono dalla natura degli ioni, dall'altro sono tutte uguali per gli atomi monovalenti, e doppie, triple ecc., cioè multiple esatte delle prime, per gli atomi di valenza superiore. Vi dev'essere dunque una carica elementare quantitativamente definita, quella degli ioni monovalenti, di cui le cariche superiori sono i multipli. Ora, come nella chimica la legge delle proporzioni definite e delle proporzioni multiple aveva condotto DALTON all'enunciazione della teoria atomica della materia, così le leggi di FARADAY, interpretate in senso realistico, condussero HELMHOLTZ per il primo ad affermare la *struttura atomica dell'elettricità* (1). Come atomo di elettricità fu considerata dunque la carica di un ione monovalente, alla quale fu dato il nome di *elettrone*. Ma quando un ione giunge sopra un elettrodo, diventa una molecola neutra; dunque la sua carica elettrica, cioè il suo elettrone, si separa dalla molecola, entra nel circuito e forma la corrente elettrica; sicchè gli elettroni possono separarsi dagli ioni a cui prima erano inerenti e sussistere allo stato libero; lo spostamento degli elettroni liberi nel circuito costituisce la corrente elettrica. Sarebbero, con probabilità, più gli elettroni negativi che gli elettroni positivi quelli che formano la corrente, essendo i primi più facilmente separabili dai rispettivi ioni. Come si vede da questi cenni, la teoria che concepisce l'elettricità come un fluido, enunciata prima dal CAVENDISH e sostenuta poi specialmente dal MAXWELL, non è abbandonata dal dinamismo, anzi è ripresa del tutto, solo con qualche modificazione: mentre la vecchia teoria meccanica ammetteva un unico fluido elettrico e spiegava lo stato positivo

---

(1) « FARADAY's Gesetz zwingt dabei zu der Annahme, dass jede Valenzstelle jedes Elements immer mit einem ganzen Aequivalent, sei es positiver, sei es negativer Elektricität geladen sei, und dass die Grösse dieser elektrischen Aequivalente ebenso unabhängig von dem Stoffe ist, mit dem sie sich verbinden, wie die Atomgewichte der einzelnen chemischen Elemente unabhängig sind von der Verbindungen, die sie eingehen, gerade so als wäre die Elektricität selbst in Atome getheilt ». HELMHOLTZ, *Zur Thermodynamik chemischer Vorgange* (in *Wissenschaftliche Abhandlungen*, III, p. 97; 1883).

come accumulo, lo stato negativo come difetto di fluido elettrico, la nuova teoria dà uguale realtà ai due stati e sembra inclinare verso un'ipotesi dualistica, di cui citammo un'applicazione nella chimica di Berzélius; elettroni positivi ed elettroni negativi sussistono ugualmente e sono indistruttibili come gli atomi della materia ponderabile; gli uni e gli altri hanno massa e proprietà diverse, sicchè non sembra possano ridursi ad un'unica forma originaria.

Mentre la teoria degli elettroni si svolgeva per spiegare i fenomeni dell'elettrolisi, il Lorentz l'applicava alla teoria elettromagnetica della luce, riuscendo a spiegare alcuni fatti che colla presupposta teoria meccanica dell'elettricità di Maxwell erano rimasti oscuri. Il fenomeno di Zeemann, cioè l'alterazione che si produce nelle righe spettrali di un gaz quando lo si pone in un intenso campo elettrico o magnetico, veniva spiegato ammettendo che le vibrazioni luminose fossero vibrazioni trasversali di elettroni negativi, che alterano i loro movimenti proprio nel senso indicato da quel fenomeno quando si pongono in un campo elettrico o magnetico. Ma più ancora richiedevano spiegazione i fenomeni luminosi che prendono origine quando si fa passare la corrente elettrica tra due elettrodi posti in un tubo vuoto o almeno con gaz estremamente rarefatto: dal catodo infatti emanano delle radiazioni speciali, fornite di notevoli proprietà (si propagano in linea retta, eccitano la fosforescenza di molti corpi, producono riscaldamento, muovono meccanicamente i corpi che incontrano purchè non offrano troppa resistenza, infine danno origine a nuove forme di radiazioni di cui diremo) che le distinguono dalle altre forme già conosciute di radiazioni: ad esse fu dato il nome di «raggi catodici». La natura dei raggi catodici fu riposta in particelle o corpuscoli molto più piccoli degli atomi della materia ordinaria, millenovecento volte più piccoli degli atomi d'idrogeno, tutti uguali nella loro minuscola massa e recanti una carica elettrica negativa. La più importante e più curiosa delle proprietà dei raggi catodici era l'ultima accennata, quella cioè di far emanare dal corpo (detto «anticatodo») sul quale vengono a cadere i raggi catodici, delle nuove radiazioni invisibili (scoperte dal Röntgen) che hanno interesse speciale per la proprietà di non essere deviate quando passino per un campo magnetico (mentre le forze elettriche e magnetiche deviano i raggi catodici), e perchè, a differenza di *tutte* le altre forme di radiazioni, non si riflettono

nè si rifrangono, nè si polarizzano, ma penetrano i corpi opachi, impressionano le lastre fotografiche anche se sono chiuse nella loro scatola, e in genere rendono trasparenti i corpi che alla luce solare appaiono opachi.

Il grande interesse di queste scoperte richiamò l'attenzione di un numero grandissimo di scienziati che si posero alla ricerca del modo di produzione di queste radiazioni; e non fu che dopo molte esperienze che il Becquerel riuscì ad ottenere dei raggi di Röntgen emanati spontaneamente, cioè senza l'uso nè di elettricità nè di luce, da alcuni sali di uranio e di potassio; finchè la proprietà radioattiva fu scoperta migliaia di volte più intensa che nell'uranio in un corpo che i coniugi Curie isolarono, allo stato di cloruro, dalla pechblenda, il *radio* (1). Le radiazioni emanate dal radio non hanno tutte le stesse proprietà, anzi si comportano in maniera così differente che è impossibile non riconoscervi delle differenze qualitative. Facendo passare un fascio di raggi tra due elettrodi, il fascio si divide in tre parti, di cui l'una devia verso l'elettrodo negativo (raggi α), un'altra verso l'elettrodo positivo (raggi β), la terza rimane non deviata e continua nella direzione rettilinea del fascio (raggi γ). Ciascuna di queste tre specie di radiazioni ha una natura sua propria, che viene messa in luce dall'esame del valore che assume, nelle particelle che le costituiscono, il rapporto $\frac{e}{m}$ tra la carica elettrica (o elettrone) e la massa di ciascuna particella. I raggi α risultano costituiti di particelle aventi una carica di due elettroni e una massa quattro volte più grande di quella dell'idrogeno; e poichè vi è un corpo - l'*elio,* un gaz la cui esistenza era stata prima riscontrata soltanto nel sole - che ha un peso atomico quattro volte maggiore di quello dell'idrogeno, così si è concluso senz'altro: le particelle dei raggi α sono atomi di elio forniti di una carica elettrica *positiva.* Nei raggi β il valore del rapporto $\frac{e}{m}$ è uguale a quello che si ha per le particelle dei raggi catodici: la loro massa è di circa mille novecento volte più piccola di quella dell'idrogeno; perciò la loro natura è stata riposta, come quella dei raggi catodici, in una specie particolare di corpuscoli, quasi frammenti di atomi, forniti di una

(1) In seguito si sono scoperti molti altri corpi radioattivi, tra i più noti dei quali sono il torio, il polonio, l'attinio e il tellurio; alcuni infine ammettono che tutti i corpi siano, più o meno intensamente, radioattivi.

carica elettrica *negativa*. I raggi γ infine condividono le principali proprietà dei raggi Röntgen: sono insensibili al campo elettrico e magnetico, hanno velocità grandissima (variabile da ventimila a trecentomila km. al secondo, ossia avente per limite superiore la velocità della luce), non si riflettono, non si rifrangono, penetrano i corpi opachi. Qual'è la loro natura? Secondo la teoria più spesso accettata, essi sarebbero radiazioni eteree come le radiazioni luminose; dunque non sarebbero di natura materiale. È un'ipotesi, questa, che non trova nè appoggio diretto nè confutazione decisa nei dati sperimentali; il fatto che i raggi γ non presentano le proprietà ottiche deporrebbe contro la loro assimilazione alle radiazioni luminose: ma d'altra parte si osserva con ragione che i fenomeni ottici sono dovuti al carattere vibratorio, periodico delle radiazioni eteree, mentre i raggi γ potrebbero esser dovuti a sviluppi isolati ed irregolari di etere (1).

Ma vi è un altro fatto importante. La radioattività di molte sostanze (soprattutto del torio, del radio e dell'attinio) è accompagnata dallo sviluppo di prodotti gassosi, che ebbero il nome di « emanazioni », di natura materiale, fornite di tutte le proprietà fisiche dei gaz: hanno volume, esercitano pressione, sono solubili nei liquidi; non sono elettrizzate, ma posseggono la capacità di rendere radioattivi i corpi (legni, metalli, vetro, carta ecc.) su cui vengano a cadere. Ramsay e Soddy raccolsero in un tubo munito di elettrodi una notevole quantità di emanazioni del radio e ne fecero l'esame spettroscopico: dopo tre giorni si vide comparire nello spettro delle emanazioni una riga dello spettro dell'elio, e « dopo cinque giorni lo spettro di questo gaz appariva completo. Così un elemento come l'elio appare nelle stesse condizioni in cui potrebbe comparire una sostanza come l'anidride carbonica in un ambiente dove non si trovi altro che carbonato di calcio. Dunque non c'è più nessun dubbio sulla possibilità della produzione di un corpo elementare a partire da materiali che non lo contengono » (2).

Molti caratteri concorrono a fare dei fenomeni di radio-

---

(1) V. Battelli, Occhialini e Chella, *La radioattività* (Bari, Laterza, 1909), pp. 144-150. Questi autori ritengono non accettabile l'ipotesi del Bragg, il quale per spiegare il fatto che i raggi γ non sono deviati dal campo elettrico e magnetico suppose che risultino di particelle α (positive) e di particelle β (negative) riunite in un sol gruppo. Finora nessun fatto decisivo è intervenuto per il controllo sperimentale delle diverse teorie.

(2) Battelli, Occhialini e Chella, *La radioattività*, p. 295.

attività una classe di accadimenti affatto diversi da tutti gli altri studiati dalla chimica. Lo sviluppo di energia che accompagna le reazioni radioattive è enormemente maggiore di quello delle comuni reazioni chimiche (fino a centomila volte maggiore); la temperatura sembra non avere alcun influsso sui processi radioattivi; infine la radioattività appare un fatto assolutamente spontaneo, che i nostri mezzi non ci permettono nè di provocare nè di impedire, nè di accelerare o ritardare, giacchè è indipendente dalle condizioni chimiche in cui si verifica. Si ritiene perciò che le trasformazioni radioattive non rappresentino il risultato di azioni esterne tra atomi e molecole, ma di processi interni all'atomo, di fronte ai quali le ordinarie condizioni chimiche non esercitano alcun potere. « La spontaneità assoluta del processo fa pensare che gli atomi delle sostanze radioattive siano in uno stato di equilibrio instabile. Ciò è tanto più ammissibile in quanto gli atomi suddetti hanno un grande peso e quindi possiedono probabilmente una costituzione assai complessa. Se ciò è vero, il processo radioattivo deve essere diretto in modo da far assumere agli atomi assettamenti sempre più stabili. Ma una condizione è imposta a questo processo dalla cinetica delle reazioni radioattive: queste sono di prim'ordine, cioè esse devono avvenire sopra un solo atomo alla volta. Se poi a questo si aggiunge che il fenomeno della radioattività consiste nell'emissione di particelle materiali, si deve concludere che il processo radioattivo consiste essenzialmente di vere e proprie disgregazioni dell'atomo Queste disgregazioni accompagnate da proiezioni di particelle possono rassomigliarsi ad esplosioni. La configurazione interna dell'atomo viene subitaneamente cambiata, grandi quantità di energia vengono messe in giuoco; nuove configurazioni hanno origine dopo questi cataclismi atomici, e quindi nuovi atomi che potranno al massimo conservare il peso degli atomi dai quali derivano o potranno averne uno minore. Osserviamo, poi, che le trasformazioni radioattive sono fatte a spesa dell'energia interna dell'atomo e implicano quindi una diminuzione di essa. Per conseguenza, se anche con mezzi convenienti si potesse restituire all'atomo le parti che ha perduto, esso non potrebbe riprendere spontaneamente l'aspetto primitivo » (1).

---

(1) Battelli, Occhialini e Chella, *La radioattività*, pp. 293-4.

Ma l'ardimento della scienza non si è fermato qui: essa ha affrontato il mistero della vita degli elementi chimici, cercando di ricostruirne la storia fino dalle più antiche epoche geologiche. Vi è un'età degli elementi chimici come vi è un'età degli esseri viventi; il radio, ad esempio, ha una durata media di vita di 2460 anni, durata non molto lunga neppure al paragone dei tempi storici; allora, che cosa era il radio prima di nascere? quale altro elemento gli ha dato la vita? Il radio è un prodotto della trasformazione dell'jonio, e l'jonio a sua volta (forse attraverso altri prodotti intermedî) deriva dalla trasformazione dell'uranio, il quale appare il capostipite della famiglia; le trasformazioni continuano ancora, ed è probabile che abbiano per mèta la produzione del piombo. Il torio appartiene ad un'altra famiglia, le cui trasformazioni pare che tendano alla produzione del bismuto. È noto che il Ramsay ha fatto esperimenti che mostrerebbero anche in altri corpi semplici (il rame) un principio di trasformazione: ma le ricerche sono ancora scarse e malsicure. In ogni modo non è esclusa la possibilità di riscontrare in altre famiglie di elementi quel ciclo di vita che si è reso evidente per le famiglie dell'uranio e del torio.

Due concetti fondamentali della chimica classica, la passività della materia e l'irriducibilità degli elementi, venivano abbattuti da una così grande quantità di scoperte in un campo la cui esistenza era, fino a pochi anni or sono, del tutto insospettata. Per compiere la rivoluzione mancava che si scotesse il concetto di massa, col che la vecchia materia poteva dirsi spacciata. Anche quest'ultimo passo fu compiuto. Dicemmo già che il rapporto tra la carica elettrica e la massa è, nelle particelle dei raggi catodici e dei raggi β, tale che la massa di ciascuna particella risulta mille novecento volte più piccola della massa dell'atomo di idrogeno. Questa minuscola massa è il residuo di materia che mancava ancora da eliminare; e fu dimostrato essere una pura parvenza. Infatti le cariche elettriche in movimento presentano una certa inerzia (come quella presentata dalle correnti elettriche nel fenomeno dell'autoinduzione; questa inerzia dà un'apparenza di massa, la cui grandezza fu calcolata uguale appunto a quella delle particelle catodiche. Dunque i corpuscoli catodici non sono altro che cariche elettriche « prive di substrato materiale ». Ecco eliminato il concetto di massa e ridotta tutta la materia agli

elettroni. « Mentre per l'addietro si prendeva come punto di partenza l' esistenza dell' etere cosmico, e quella della materia ponderabile caratterizzata dal suo principale attributo, l'inerzia, e si cercava di dare una spiegazione meccanica di tutti i fenomeni, oggi, partendo dall'etere e dagli elettroni, si costituisce, per così dire, con essi la materia ponderabile e si cerca di render conto dei fenomeni da essa presentati » (1).

Le ultime teorie finiscono dunque, secondo l'espressione del Righi, col porre l'elettricità al posto della materia; ma, aggiunge opportunamente questo autore, « la nuova teoria non pretende affatto di dare ragione della causa prima dei fenomeni elettrici, la quale rimane sempre misteriosa ». Sicchè non si è sfuggiti, con questa ipotesi, alla necessità di porre nel fondo della realtà qualche cosa di qualitativo. Quello a cui si è mirato è stato di escludere ogni *differenza* di qualità negli elementi della natura; e in questo le nuove teorie non mutano sostanzialmente lo scopo dell'antico meccanicismo. Unica differenza che finora è parsa ineliminabile è quella tra elettroni positivi ed elettroni negativi. Ma in ogni modo, unica è la forma di energia da cui tutta la realtà deriva: l' energia elettrica; quando gli elettroni sono immobili danno origine ai fenomeni elettrostatici; quando si muovono con flusso costante provocano i fenomeni elettrodinamici; quando si muovono con variazioni brusche di velocità danno origine alle correnti alternate, alle correnti oscillanti, e quando sono agitati da moto ondulatorio formano le onde elettromagnetiche in cui si risolvono i raggi calorifici, luminosi e chimici. Tutti i fenomeni naturali sono ricondotti all'unità di un principio universale, misterioso nella sua essenza, ma capace di spiegare tutti gli accadimenti della natura. Le supposte unità ultime dei corpi, gli atomi della fisica meccanicistica, sono costituiti di elettroni positivi e di elettroni negativi, ruotanti questi intorno al nucleo formato da quelli e tenuti insieme da forze attrattive che li mantengono in equilibrio dinamico; finchè intervenga un'azione che, turbando l'equilibrio, faccia separare gli elettroni delle due specie e distrugga l' unità dell' atomo.

Gli atomi sono dunque specie di serbatoi di un'energia, a cui

---

(1) Righi, *La moderna teoria dei fenomeni fisici* (2ª ediz., Bologna, 1904), pp. 148-149. - V. anche l'ottimo manuale di J. J. Thomson, *Elettricità e materia* (Milano, Hoepli, 1904).

fu dato il nome di « energia intraatomica », la quale può svolgersi, attuarsi, e quindi annichilire l'atomo che ne era formato. La materia non è immutabile, ha un'*evoluzione*, si dematerializza. La concentrazione dell'etere ha dato luogo alla formazione del mondo dal caos, la dispersione dell'etere restituisce il mondo al caos primitivo, d'onde nasceranno nuove concentrazioni e nuove dematerializzazioni per le stesse forze fisiche. I principî di questa recentissima filosofia della natura sono riassunti in forma semplice ed elegante da Gustavo Le Bon, dal libro del quale (1) meritano di essere riportati come l'ultima parola della scienza sulla natura della realtà esterna:

« 1. La materia, supposta una volta indistruttibile, svanisce lentamente per la dissociazione continua degli atomi che la compongono.

« 2. I prodotti della dematerializzazione della materia costituiscono delle sostanze intermediarie, per le loro proprietà, tra i corpi ponderabili e l'etere imponderabile, cioè tra due mondi che la scienza aveva finora profondamente separati.

« 3. La materia, una volta considerata come inerte e capace di restituire soltanto l'energia che le fu fornita, è al contrario un colossale serbatoio di energia - l'energia intraatomica - che essa può spontaneamente dispensare.

« 4. Dall'energia intraatomica liberata durante la dissociazione della materia risulta la maggior parte delle forze dell'universo, l'elettricità e il calore solare sopra tutto.

« 5. La forza e la materia sono due forme diverse di una stessa cosa. La materia rappresenta una forma relativamente stabile dell'energia intraatomica. Il calore, la luce, l'elettricità ecc. rappresentano delle forme instabili della medesima energia.

« 6. Dissociare gli atomi, o in altri termini dematerializzare la materia, è semplicemente trasformare la forma stabile di energia detta materia, in una forma instabile conosciuta sotto il nome di elettricità, di luce, di calore ecc.

« 7. La materia ordinaria può dunque essere trasmutata in forme diverse di energia; ma soltanto all'origine, senza dubbio, l'energia ha potuto essere condensata sotto forma di materia.

« 8. Gli equilibrî delle forze colossali condensate negli

---

(1) Le Bon, *L'évolution de la matière* (Paris, Flammarion, 1910), pp. 12-13.

atomi danno loro una stabilità grandissima. Basta tuttavia turbare questi equilibri con un reattivo appropriato, perchè la disgregazione degli atomi incominci. È così che certi raggi luminosi possono dissociare facilmente le parti superficiali di un corpo qualunque.

« 9. Poichè la luce, l'elettricità e la maggior parte delle forze conosciute risultano dalla dematerializzazione della materia, ne segue che un corpo che irraggia perde, per il solo fatto di questo irraggiamento, una parte della sua massa; se potesse irraggiare tutta la sua energia, svanirebbe interamente nell'etere.

« 10. La legge di evoluzione applicabile agli esseri viventi lo è ugualmente ai corpi semplici. Le specie chimiche non sono più invariabili delle specie viventi ».

Queste sono le ultime idee a cui la scienza della natura esterna ha portato intorno al problema della costituzione della materia. Noi abbiamo voluto riserbare in ultimo tutte le osservazioni critiche, affinchè l'esposizione apparisse più organica e ordinata; vediamo ora quale credibilità meritano queste concezioni dinamistiche.

L' ipotesi di Boscovich e dei dinamisti newtoniani, che ammettono l'esistenza di punti sostanziali assolutamente semplici, inestesi, centri dell'unica forza di gravità esistente nella natura, la quale si scinde poi nelle due forme dell'attrazione e della ripulsione a seconda della distanza tra gli elementi, va prima di tutto incontro ad una obiezione: in quanto ipotesi metafisica è incoerente, perchè, mentre nega l'estensione agli atomi, ammette l' esistenza di distanze tra gli atomi; se si vuol negare agli atomi l'estensione, come è necessario per poter considerare gli elementi della realtà come unità individuali, bisogna essere coerenti e giungere a negare l'oggettività dello spazio (1). Il vantaggio del dinamismo sull'atomismo è scarso se continua ad ammettere l'oggettività della estensione, sia

(1) Il Boscovich muove a Leibniz un'obiezione sbagliata: lo rimprovera di aver fatto nascere il continuo dalla giustaposizione di punti inestesi, e dice che contro tale assunzione valgono le critiche degli Eleati. Ma in realtà, secondo il concetto leibniziano, l' estensione continua non è un prodotto *oggettivo* dell'accostamento di punti inestesi, ma è il modo onde appaiono al soggetto i rapporti di coesistenza delle monadi. Negata l'estensione alle monadi, Leibniz giunse coerentemente a negare l'oggettività dello spazio.

pure trasportata dagli atomi alle distanze che li separano. In secondo luogo il Boscovich insiste nel far notare che la sua dottrina si distingue bene dalla dottrina leibniziana « *quia homogeneitatem admittit in elementis, omni massarum discrimine a sola dispositione et diversa combinatione derivato* » (1). A noi invece sembra aver dimostrata, in base ai risultati della chimica moderna, l'impossibilità di ammettere un'omogeneità assoluta della materia e l'impossibilità di derivare le proprietà dei corpi unicamente dalla disposizione delle loro parti. Quando dai punti inestesi ed omogenei, forniti delle sole forze attrattive e ripulsive, si tratta di discendere a tutta la ricchezza e varietà delle proprietà fisiche e chimiche dei corpi, ci si trova di fronte a difficoltà anche maggiori di quelle incontrate dall'atomismo, il quale almeno, ammettendo negli atomi alcune proprietà irriducibili, si esimeva dall'obbligo di spiegare l'origine di alcune qualità (l'estensione, la durezza ecc.) che il dinamismo dovrebbe pur cercare di derivare da elementi che ne sono sforniti. Con tutto ciò, non vogliamo negare che vi sia nel dinamismo così concepito un grano di verità che cercheremo di mettere in luce, trattando del problema metafisico, nelle conclusioni finali.

E veniamo alla moderna teoria degli elettroni e della dissociazione della materia.

Prima di tutto cerchiamo di chiarire un punto nel quale si sogliono fare molte confusioni: poichè la chiarezza è la prima dote d'ogni teoria scientifica e filosofica. Nell'enunciare le ipotesi sulla costituzione della materia i fisici parlano qualche volta dell'etere come della sostanza di cui sono costituiti in ultima analisi tutti gli elementi della realtà, qualche altra volta parlano dell'« energia » elettrica, o dell'energia intraatomica, come dell'essenza della materia; e finiscono coll'identificare le due cose, dicendo che gli atomi non sono altro che etere condensato e che quest'etere è l'energia intraatomica, oppure che lo svolgimento dell'energia intraatomica rappresenta la dematerializzazione della materia. Qui c'è una enorme confusione tra concetti che vanno invece ben distinti: altro è quello che i fisici chiamano etere – una sostanza imponderabile, che può essere concepita, come vedemmo a suo luogo, o come continua o come di struttura atomica –, altro è quello a cui spetta il nome di energia, cioè la capacità che i corpi

(1) Boscovich, *Theoria philosophiae naturalis etc.*, p. 1, paragr. 3.

posseggono di produrre lavoro (in senso largo); le due affermazioni « la materia è costituita di etere » e « la materia è energia » vanno dunque tenute distinte e discusse separatamente. La prima affermazione non offre in fondo alcun vantaggio sulla vecchia concezione meccanicistica della materia: essa si riduce infatti a trasferire la struttura atomica dai corpi che sono studiati nella chimica a quella sostanza di cui si suppone che i corpi siano costituiti, e a togliere alla sostanza primordiale la proprietà del peso; di fronte alla soluzione dei problemi di filosofia naturale, e specialmente del problema dell'origine delle differenze qualitative, non diversifica dall'antica concezione della materia ed è soggetta alle difficoltà da cui questa era tormentata. Quanto alla seconda affermazione, bisogna chiarir bene in che senso si identifica la materia coll'energia: perchè se si definisce l'energia come la « capacità di produrre lavoro », essa è una proprietà, una *funzione* degli agenti reali, ma non può esistere per sè, separata dagli agenti reali. Ci può essere, ad esempio, un movimento senza qualche cosa che si muove? ci può essere un calore senza qualche cosa che sia caldo? ci può essere dell' elettricità senza qualche cosa che sia elettrizzato? Se si ammette che ci siano delle « cariche elettriche libere », cioè non inerenti a nessuna sostanza, si finisce semplicemente col dare alla carica elettrica il valore di sostanza, coll'attribuire all'energia le note che definiscono la materia. La confusione è giunta a tal punto, che si dice che le cariche elettriche (gli elettroni) possono staccarsi dai corpi a cui ineriscono, muoversi, viaggiare, aggrupparsi, proprio come gli atomi della vecchia materia; e un fisico illustre, l'Einstein, che ha pure molti meriti nella fisica sperimentale e teorica, azzarda l' ipotesi che « l'energia sia pesante », che « l'energia abbia massa, volume..... ». E allora questa « energia » non è forse un nuovo nome per indicare proprio la vecchia materia? A che serve il risolvere gli atomi in elettricità, se poi fate dell'elettricità una sostanza e le attribuite struttura atomica? Gli atomi non saranno più quelli che si credeva prima, saranno duemila volte più piccoli, saranno frammenti di quelli di una volta: ma si crede con ciò di avere eliminato l'atomismo?

L'affermazione della struttura atomica dell'elettricità può dunque esser fatta solo al patto di considerare l'elettricità non più come una forma di energia, ma come una materia; un

« atomo di energia » è un assurdo. Ciò, s'intende, nulla toglie al significato delle leggi sperimentali della dissociazione elettrolitica, le quali indicano semplicemente l'esistenza di un rapporto fisso tra la quantità di materia e la quantità di elettricità. Come la legge di DALTON sulle proporzioni fisse e multiple esprimeva solo un *rapporto* e non era per nulla legata all'ipotesi atomistica sulla costituzione della materia, così le leggi di FARADAY sulla dissociazione elettrolitica esprimono un rapporto e non esigono affatto l'interpretazione realistica sulla struttura atomica dell'elettricità.

Messo in chiaro questo punto, procediamo nella nostra analisi e domandiamoci: le teorie dinamistiche rispondono a tutte le esigenze razionali e sperimentali per la soluzione del problema dell'origine delle differenze qualitative? Il dinamismo si può riassumere, in ultima analisi, in queste tre tesi: 1° l'omogeneità assoluta della realtà naturale; 2° la mutabilità degli elementi; 3° la spontanea attività della materia. Esaminiamo queste tesi in rapporto col nostro problema.

1.° Sull'omogeneità della sostanza abbiamo già troppe volte espressa la nostra opinione perchè sia necessario ritornare sull'argomento. Come la teoria di CARTESIO della materia identificata colla pura estensione, come la teoria di WILLIAM THOMSON del fluido omogeneo riempiente tutto l'universo, così la teoria elettronica si trova nell'impossibilità di dimostrare in che modo da una sostanza assolutamente indifferenziata scaturisca tutta la ricchezza e la varietà del mondo della nostra esperienza. Ma vi è di peggio: partendo dal concetto di una materia sfornita di ogni qualità, come quella cartesiana, ci si poneva, è vero, così lontani dall'esperienza che era impossibile stabilire i legami tra quell'astrazione e la realtà concreta che sperimentiamo; ma, per la medesima ragione, non si correva poi il rischio di trovare delle forme di esperienza che contraddicessero a quel vago e generico concetto della materia. Quando invece si parte da una realtà già qualificata, già fornita di alcuni caratteri, e caratteri così speciali come quelli elettrici, bisogna poi potere spiegare il fatto innegabile che quei caratteri *non si riscontrano* in una grandissima parte della natura. I fenomeni luminosi, termici, cinematici, chimici ecc. non hanno i caratteri dei fenomeni elettrici: e allora, che significato può avere l'affermazione che « tutto è elettricità »?

Non basta il dire col Righi che le nuove idee scientifiche « pongono l'elettricità al posto della materia », se non si spiega da un lato come dall'elettricità derivino tutti i fenomeni, dall'altro perchè una grande quantità di fenomeni non presenti affatto le note dell'elettricità.

2.° La mutabilità degli elementi è un dato sperimentale ormai inconfutabile. Anche se non vogliamo seguire il Ramsay nell'entusiastica riabilitazione dell'alchimia, è certo ormai che il problema della trasformazione dei metalli, se pur non è risolto e se pure in pratica non lo sarà mai compiutamente, non ha in teoria nulla di assurdo e trova anzi risposta in una serie di fatti di non dubbia interpretazione. Questi fatti, per altro, non depongono per nulla contro la realtà delle differenze qualitative. Ciascun elemento, infatti, è caratterizzato dalle proprietà che, in date condizioni, possiede, cioè dal modo come si comporta rispetto alle diverse forme di energia; nulla esclude a priori che un cangiamento radicale delle condizioni della sua esistenza (sinora ignote) arrechi un così radicale mutamento delle sue proprietà da farne un essere diverso dal primo; ciò vuol dire forse che le differenze qualitative tra il primo e il secondo non siano reali? Dall'esame dei fatti risulta che la trasformazione degli elementi nel fenomeno della radioattività non è solo un diverso modo di apparire di un agente fondamentalmente identico, ma una trasformazione reale, intima, profonda (tanto che è irreversibile), una trasformazione dell'*interno* dell'agente, la quale ne fa un'individualità diversa. Se vi è una verità dimostrata dai fatti, è appunto che le sole condizioni esterne non sono sufficienti ad alterare profondamente e stabilmente le proprietà degli elementi: che quindi proprietà differenti sono il sintomo di una differenza intrinseca, reale degli agenti che le manifestano. Anche una specie organica, secondo l'ipotesi evoluzionistica, può trasformarsi in un'altra, e a nessuno viene in mente di dire che due specie, derivate l'una dall'altra, siano identiche, quasi due diversi modi di apparire di una specie unica: quando la trasformazione è profonda, attacca l'interno dell'organismo, e produce un essere nuovo che non può più essere *ridotto* a quello che gli ha dato la vita.

3.° Il postulato della spontanea attività della materia può essere inteso in tre modi. In senso metafisico può significare che per concepire ragionevolmente gli enti reali, per spiegare

come sia possibile in generale il cangiamento, bisogna ammettere che qualsiasi azione tra gli enti medesimi non sia limitata ai loro rapporti estrinseci, ma abbia la sua radice in un mutamento del loro interno, per cui essi possono assumere atteggiamenti nuovi nella loro reciproca interazione. Così inteso, è un postulato che possiamo benissimo ammettere, ma che esce dai limiti della considerazione scientifica. In senso empirico, la spontanea attività della materia può essere intesa ancora in due modi: o come la possibilità, inerente alla materia, di creare energia dal nulla, d'introdurre una nuova efficienza nel ciclo dei fenomeni naturali: e, così inteso, il postulato va senz'altro respinto come contrario al principio metodologico supremo della conservazione dell'energia. Oppure nel senso che lo svolgimento dell'energia intraatomica avviene per condizioni che a noi sono tuttora ignote e sulle quali non possiamo influire coi mezzi di cui disponiamo: e allora il postulato risponde a una verità sperimentale ed esprime la limitatezza del nostro conoscere e del nostro operare. Ammesso, come il solo legittimo, quest'ultimo significato del concetto di attività spontanea della materia, risulta subito assai chiara ed esatta rappresentazione dei fenomeni di radioattività quella proposta dal Rutherford: egli ha avvicinati i corpi radioattivi ai così detti « agenti liberatori » di energia, i quali non creano l'energia dal nulla, ma permettono la trasformazione rapida in lavoro (in senso largo) di una quantità colossale di energia potenziale. Come un esplosivo, nell'atto dell'esplosione, attua una quantità enorme di energia chimica potenziale, così l'energia svolta dal corpo radioattivo in date circostanze, a noi per ora ignote, non è una creazione *ex nihilo*, ma una trasformazione dell' energia potenziale accumulata nel corpo stesso. A questa energia potenziale si può, se si vuole, dare il nome di « energia intra-atomica »; ma, naturalmente, come l'energia svolta dall'esplosivo non è l'esplosivo stesso, così l'energia svolta da un corpo radioattivo non va confusa con l'agente che di questa energia è il sostegno e il principio di sviluppo.

Il concetto della radioattività come liberazione di energia si armonizza perfettamente con le conclusioni a cui siamo giunti nell'esame delle teorie fisiche. Uno dei fatti definitivamente assodati nelle ultime ricerche è che *la radioattività è un processo irreversibile;* dati ad es. i prodotti di decomposizione del-

l'uranio, è *assolutamente impossibile* rifare l'uranio. È questo ciò che accade appunto nei casi di liberazione d'energia. *La radioattività*, dunque, *è una forma di degradazione di energia;* quel principio di degradazione al quale demmo anche, giustamente, il nome di « principio di evoluzione » si trova verificato anche in questo gruppo importantissimo di fenomeni, che rientra in tal modo perfettamente nel quadro generale dei fenomeni della natura. Dopo ciò, come noi già affermammo che vi è una *evoluzione dell' energia,* così ora possiamo ben dire che vi è una *evoluzione della materia:* giacchè le trasformazioni energetiche a cui un elemento va soggetto possono essere così intime e profonde da farne un essere nuovo. Ma con questo non intendiamo di accettare le tesi un po' confusionarie del Le Bon: per lui la materia, confusa coll'energia, ha un ciclo di esistenza dopo il quale, dematerializzandosi, svanisce; per noi il ciclo della vita di un agente reale consiste nella degradazione della sua energia, e la sua morte non è l'annullamento del suo essere ma l'impossibilità di creare un disequilibrio energetico senza l'intervento di una forza esteriore.

Ma qui entriamo anche noi a formulare ipotesi alla cui base non debbono stare soltanto le ricerche sperimentali sopra accennate, ma considerazioni molto più vaste sul complesso dei fenomeni della natura; perciò ci contentiamo delle osservazioni fin qui fatte, riservandoci di trattare il problema nella sua integrità dal punto di vista filosofico nelle nostre conclusioni finali.

V. La chimica delle qualità.

Tutte le osservazioni e le critiche svolte nei precedenti capitoli esigono che si cerchi ora di fissare con esattezza i concetti di individuo chimico, di elemento e di combinazione, in modo da evitare le difficoltà, siano d'ordine teorico, siano d'ordine sperimentale, a cui vanno incontro le teorie predominanti nella chimica meccanicistica.

Il primo che, opponendosi alla dottrina scolastica delle forme sostanziali, abbia cercato di elaborare un concetto scientifico dell'elemento chimico fu Roberto Boyle; definendo l'elemento chimico come un corpo che non si può ulteriormente decomporre e che è invece il principio semplice onde sono

costruite le combinazioni, il Boyle introduceva i concetti fondamentali di analisi e sintesi chimica. Corpi semplici erano per lui i corpi refrattarî ad un'analisi ulteriore; e poichè ogni cangiamento era possibile soltanto nella composizione dei corpi, gli elementi, non essendo composti, dovevano essere esenti da trasformazioni. Così l'atteggiamento di opposizione all'alchimia faceva sorgere il principio dell'*immutabilità* degli elementi, che entrò nella chimica atomistica e fu fecondo di non pochi errori fino a quando i risultati delle recenti indagini hanno costretto ad abbandonarlo. Essendo immutabili, gli elementi non dovevano subire alterazione nella loro massa e nella loro natura neppure quando entravano a far parte di una combinazione, tanto è vero che potevano poi con opportuni mezzi essere riottenuti allo stato libero. Così sorgeva il problema, come accada la trasformazione delle proprietà dei corpi semplici quando si uniscono a formare i composti, per sciogliere il quale gli scienziati, postisi in recisa opposizione ad ogni concezione qualitativa, idearono le ipotesi sulla disposizione speciale degli atomi degli elementi nella molecola della combinazione, senza per altro riuscir mai a mostrare una connessione razionale tra l'architettura molecolare e le proprietà fisiche e chimiche dei corpi.

Le conoscenze possedute nel campo della chimica al tempo del Boyle erano così scarse, ch'egli considerava come « elementi » il sale, lo zolfo e il mercurio: vittima forse di quella stessa alchimia contro cui batteva in breccia la scienza moderna (1). L'evoluzione ulteriore della chimica, specialmente dal Lavoisier in poi, ha mirato a determinare con maggiore esattezza quali fossero i corpi semplici; ed è giunta fino all'odierna tavola degli elementi, che nell'ultima lista (1913) ne comprende ottantuno. Ma il concetto dominante dell'elemento e della combinazione è rimasto fino ad oggi quello del Boyle: l'elemento è, anche per la maggior parte dei chimici moderni, un corpo così fatto che tutti i tentativi di decomporlo devono andare falliti; e la molecola dei composti è un aggregato degli atomi dei corpi semplici, per sè stessi immutabili nella loro natura e nelle loro proprietà

A questa concezione noi rivolgiamo due critiche fondamentali, svolgendo le quali avremo il modo di esporre anche

---

(1) V. Lasswitz, *Geschichte der Atomistik*, cit., vol. II, p. 276. Ostwald, *L'évolution d'une science: la chimie* (Paris, 1909), pp. 10 11.

il nostro concetto d'individuo chimico. Noi troviamo in questa concezione:

1° - un'arbitraria scelta di fenomeni, per cui alcuni processi sono chiamati chimici ed altri no, per motivi non sufficienti a porre una netta distinzione, e un'arbitraria limitazione della trasformabilità della materia;

2° - l'incapacità di spiegare le combinazioni, considerandole come risultanti dall'aggregato di elementi semplici immutabili.

Svolgiamo ora questi due punti fondamentali:

I. Il WALD, in un acuto studio che noi seguiremo in questa critica, anche perchè ci offrirà il modo di discutere alcuni concetti con troppa fretta sostituiti agli antichi [1], ha espresso assai bene in forma matematica l'arbitraria scelta di fenomeni e la limitazione nella trasformabilità della materia implicita nella chimica atomistica. Un processo è chimico, secondo la teoria atomica, solo quando può essere indicato mediante un'equazione in cui uno dei membri contiene almeno un termine più dell'altro, cioè: $a + b = c$ (sintesi: p. es. cloro + sodio = cloruro di sodio), oppure $a = b + c$ (analisi: p. es. cloruro di sodio = sodio + cloro). Una trasformazione esprimibile colla formula $a = b$ è ritenuta o come impossibile (p. es. la trasformazione di cloro in sodio) o come un fatto non chimico (p. es. la soluzione di un sale in acqua). Arbitraria l'una e l'altra affermazione. La prima infatti urta contro l'esistenza degli isomeri, corpi di uguale composizione chimica ma di così differenti proprietà che quella stessa scienza che considera come un corpo unico sostanze qualitativamente così differenti come l'acqua, il ghiaccio e il vapor acqueo, non poteva dirli forme diverse di una sostanza unica; urta poi oggi contro la scoperta della trasformazione degli elementi nei fenomeni di radioattività. La seconda limitazione è non meno arbitraria, perchè certi cangiamenti di stato, come ad es. quelli che avvengono nelle soluzioni, implicano un mutamento di proprietà di non minore importanza di quelli che avvengono nelle trasformazioni chimiche. A superare tali difficoltà ha assai contribuito, introducendo un nuovo concetto dell'individuo chimico, la *teoria delle fasi* di WILLARD GIBBS.

---

(1) F. WALD, *Kritische Studie über die wichtigsten chemischen Grundbegriffe* (in *Annalen d. Naturphilosophie*, I Bd., S. 182-216).

L'importanza che ha per noi la teoria delle fasi sta nell'avere permessa una definizione puramente qualitativa degli elementi e delle combinazioni. Una « fase », secondo questa teoria, è l'insieme delle parti di un sistema materiale aventi le medesime proprietà: sono fasi un miscuglio di gaz, un liquido, una soluzione, un solido semplice o composto; sono due fasi distinte, perchè hanno proprietà differenti, l'acqua e il vapor acqueo che sta sulla sua superficie, e sono due fasi una soluzione di sale e l'avanzo di sale non disciolto che rimane nel fondo del recipiente. Ogni volta che si osservano differenze di proprietà (di forma, di densità, di calore specifico, di peso specifico, di proprietà ottiche, elettriche e magnetiche, di stato fisico, ecc.) si devono riconoscere fasi differenti; e la chimica è appunto lo studio delle fasi e delle loro trasformazioni. Con questa larghissima definizione si fanno rientrare nel campo dei fenomeni chimici tutte le trasformazioni della materia, qualunque ne sia il grado e la forma.

Con ciò, tuttavia, le nostre conoscenze non sarebbero molto progredite, se non fosse possibile in questa vastissima classe delle fasi stabilire delle distinzioni. È qui, a nostro credere, l'errore del Wald e di tutti coloro i quali, per distruggere fino in fondo i concetti introdotti dall'atomismo, sono caduti nell'eccesso opposto. Ogni distinzione nell'orbita delle fasi è, secondo il Wald, arbitraria; tra un miscuglio omogeneo, una soluzione e una combinazione chimica egli non ammette alcuna differenza essenziale: tutte sono *fasi*. La combinazione non è che un caso particolare e secondario di un miscuglio: il caso cioè in cui, per cause accidentali, la variabilità abituale, più o meno grande, delle proporzioni in cui sono congiunti i corpi componenti, cade al di sotto d'ogni limite percettibile; un miscuglio particolarmente persistente, sebbene non si possa dirlo assolutamente invariabile, è quello che si chiama combinazione. E se una fase presenta questo caso-limite di una grande persistenza, ciò non dipende dalla sua natura, ma dalle relazioni in cui si trova con altre fasi coesistenti.

Noi non ci sentiamo di sottoscrivere a queste idee del Wald. A noi sembra ch'egli non noti che, nella presente questione, la differenza tra il caso limite e i casi che stanno sotto il limite non è solo differenza di grado, ma differenza sostanziale: la persistenza delle proporzioni in cui sono congiunti i componenti in una combinazione (lasciando l'ipotesi puramente

arbitraria che la persistenza sia solo relativa e dipenda dai nostri scarsi mezzi d'osservazione) è l'indice di una natura organica della molecola della combinazione, la quale appunto per questa persistenza può dirsi un *individuo* chimico, mentre i miscugli appunto per la loro variabilità non lo sono. Non è possibile negare la radicale differenza tra un composto e un miscuglio; la fissità delle proporzioni tra i componenti dal lato quantitativo e la permanenza delle proprietà in condizioni esterne identiche dal lato qualitativo pongono i composti in una situazione ben diversa da quella dei miscugli. Ormai i nostri mezzi d'osservazione microscopici ed ultramicroscopici sono così progrediti che hanno rivelato il carattere di miscuglio in tante sostanze che erano prima ritenute combinazioni o magari corpi semplici; ma in una molecola d'acqua non sarà mai possibile discernere l'idrogeno e l'ossigeno, appunto perchè la molecola d'acqua è qualche cosa di più organico ed unitario che le particelle di un miscuglio. Vi è, insomma, per la distinzione tra miscugli e combinazioni un motivo oggettivo, non risolvibile nel puro fatto psicologico della limitatezza dei nostri sensi e mezzi d'osservazione.

Quanto poi alle soluzioni, vi è il fenomeno della saturazione che mostra l'impossibilità di confonderle colle combinazioni: esso rivela che il corpo disciolto e il solvente, per quanto intimamente legati, non si sono combinati, non hanno dato luogo a un nuovo corpo definito da proprietà speciali.

Noi dunque non accettiamo questa forma esagerata ed infeconda assunta dalla teoria delle fasi in alcuni suoi recenti espositori; accogliamo da quella teoria l'indirizzo con cui essa cerca di giungere ad una definizione esatta degli individui chimici e cerchiamo anzi di vedere se la stessa teoria, approfondita, possa guidarci a riconoscere delle distinzioni ineliminabili.

Quando si sottopone un corpo (una fase) a delle variazioni, p. es. di temperatura o di pressione, si ottengono per lo più due o più fasi coesistenti; p. es. inalzando la temperatura di una soluzione satura di cloruro di sodio si ottiene: vapor acqueo, cristalli solidi del corpo disciolto, e la parte non ancora mutata della soluzione (tre fasi). Ora, in certi casi la trasformazione della sostanza avviene in modo che il residuo della fase anteriore non cambia le sue proprietà; p. es. evaporando dell'acqua o fondendo del ghiaccio, l'acqua e il ghiaccio rimanenti dopo il parziale mutamento di stato non mutano le loro

proprietà. Le sostanze capaci di tali trasformazioni, dette *ilotrope*, sono *individui chimici*. In altri casi invece la trasformazione avviene in modo che la produzione di una nuova fase implica di necessità una variazione della fase anteriore: p. es. evaporando dell'acqua di mare, mentre si ottiene del vapore acqueo, si ottiene al tempo stesso un precipitato di cloruro di sodio: l'evaporazione di una parte dell'acqua ha avuto per conseguenza necessaria una modificazione nella quantità rimanente del corpo esaminato. Le sostanze non capaci di trasformazioni ilotrope, come questa citata, non sono individui chimici, ma *soluzioni* e *miscugli*. Così sulla base di considerazioni puramente qualitative si è data una distinzione abbastanza precisa tra individui chimici e soluzioni e miscugli; ma non basta. Vi sono degli individui chimici i quali, pur essendo capaci di trasformazioni ilotrope, in certe condizioni energetiche hanno un comportamento analogo a quello delle soluzioni e dei miscugli; p. es. se si scalda a $+400°$ dell'ossido di mercurio (che è un individuo chimico), si ottiene dapprima un miscuglio gassoso da cui, per successivo raffreddamento, si distinguono da un lato un gaz (ossigeno), dall'altro un liquido fornito di proprietà diverse da quelle del corpo preesistente (il mercurio): la trasformazione qui non è stata ilotropa. Le sostanze che presentano un simile comportamento si diranno *combinazioni*. Invece vi sono degli individui chimici i quali, per quanto si sottopongano a variazioni di temperatura, di pressione, di stato elettrico ecc., non sono capaci altro che di trasformazioni ilotrope: a questi spetta il nome di *elementi*, definibili in termini generali come « quelle sostanze le quali non provano altro che trasformazioni ilotrope, quali si siano le variazioni energetiche a cui possono essere sottomesse » (1).

Quali vantaggi ha sull'antica questa nuova definizione dell'elemento? Essa anzitutto soddisfa alla legittima esigenza di distinguere gli elementi dalle combinazioni e possiede perciò i pregi innegabili nella vecchia definizione dell'elemento; ma d'altra parte non nega più la trasformabilità della materia, non respinge come impossibile una mutazione della forma $a = b$, che era stata l'ostacolo contro cui aveva urtato il concetto atomistico dell'elemento immutabile: gli elementi si possono trasformare, purchè le loro trasformazioni siano sempre ilotrope. Ora va

(1) Ostwald, *L'évolution d'une science: la chimie* (cit.), pp. 30-31.

avvertito che la trasformazione del radio in elio è proprio una trasformazione ilotropa, perchè il residuo di radio rimanente dopo una parziale trasformazione in elio non muta le sue proprietà. Di qui per altro si potrebbe concludere in due maniere: o che radio ed elio sono in fondo due elementi molto affini, anzi due aspetti di uno stesso elemento, quasi due stati allotropici della stessa sostanza semplice; oppure che sono realmente due elementi ben distinti e che l'uno è trasformabile nell'altro. Ammessa la prima ipotesi, bisognerebbe sostenere che non soltanto il colore, la forma ecc., ma anche le proprietà che servivano una volta a individuare i corpi semplici, come il peso atomico, la valenza, il calore specifico, non bastano più a distinguer gli elementi, poichè uno stesso elemento può possedere, in due stati diversi, peso atomico, valenza ecc. differenti. Ammessa invece la seconda ipotesi, a tutte queste proprietà viene lasciata la loro importanza discriminativa, ma bisogna ammettere che un elemento può diventare un altro elemento. L'una e l'altra ipotesi, come si vede, contrasta alla definizione dell'elemento data dalla teoria atomica. Quale delle due è più plausibile?

Allo stato attuale delle ricerche non c'è un fatto che decida per l'una o per l'altra; vi sono per altro indizî sperimentali e considerazioni teoriche da cui si può trarre qualche indicazione. La prima ipotesi non è inammissibile, perchè alla definizione dell'elemento noi siamo giunti senza occuparci affatto di quelle proprietà a cui una volta ci si riferiva per individuare i corpi; tuttavia queste proprietà hanno pur sempre un significato, sono i caratteri che distinguono tra loro i diversi elementi, e se negassimo loro ogni valore discriminativo non sapremmo in che cosa i corpi si differenzino. Tra il radio e l'elio, per continuare nell'esempio citato, c'è tale differenza di proprietà (basti ricordare che il peso atomico del radio è 224 e quello dell'elio è 4), che se fossero due aspetti di un medesimo elemento non riusciremmo a trovare delle proprietà che distinguano realmente i corpi semplici. - La seconda ipotesi è in apparenza meno gradevole perchè più urta i vecchi concetti a cui molte menti si sono abituate; ma noi non neghiamo che ottiene più facilmente della prima la nostra adesione. Le trasformazioni degli elementi nei fenomeni di radioattività sono, come dicemmo nel capitolo precedente, radicali e profonde, e affettano l'intrinseca natura dei corpi; non è affatto assurdo

l'ammettere che si riscontri nel mondo inorganico un principio di quella evoluzione che assurge a sì vasta importanza nel mondo organico. Tanto più che tutte le ricerche sin qui fatte non dicono che un elemento possa essere trasformato in qualsiasi altro, ma anzi lo escludono: dicemmo già che vi sono delle « famiglie » di elementi, e che mentre l'uranio può trasformarsi in jonio e l'jonio in radio, il torio appartiene ad un altro gruppo di corpi e non può trasformarsi in radio o in jonio. Sicchè possiamo ben ammettere, nell' attesa che nuovi fatti vengano a dilucidare i problemi ancora insoluti, che la trasformazione degli elementi è possibile, sebbene limitata all'interno di una famiglia che ha il suo capostipite, i suoi discendenti e forse il suo termine di assestamento finale.

II. Veniamo ora alla seconda critica fondamentale. L'atomismo, tenendo fermo il concetto dell'immutabilità degli atomi, ci presenta la molecola dei composti come un *aggregato* degli atomi dei corpi semplici; la molecola formerebbe sì un'unità, ma più un'unità collettiva che organica, poichè ciascun elemento dell'aggregato conserverebbe intatte, con la sua individualità, le sue proprietà e funzioni. Sorto per supposti bisogni metafisici nelle dottrine materialistiche dei filosofi greci e rimasto immutato nell'atomismo moderno, questo preconcetto detta le artificiose ipotesi sulla forma della distribuzione e del concatenamento degli atomi nella molecola, per porre l'origine delle differenze qualitative nell'architettura molecolare. Ma noi abbiamo già veduto che queste ipotesi - frutto dell' eccessivo attaccamento alla traduzione dei fenomeni in *simboli* spaziali - non spiegano nulla, anzi diventano assurde quando nella forma di distribuzione degli atomi nella molecola si vuol trovare l'origine di tante proprietà diverse, e che lo stesso principio dell'immutabilità degli atomi urta contro i caratteri dei fenomeni mediante i quali hanno origine le combinazioni. E per di più abbiamo mostrata la necessità di ammetter mutabili gli elementi. Riprendendo ora in maniera più larga il problema, ci domandiamo: quale concetto dobbiamo formarci dei rapporti tra elementi e combinazioni?

Noi che non abbiamo accolta l'ipotesi atomica non siamo affatto obbligati a credere che le unità ultime delle combinazioni, le molecole, risultino effettivamente di particelle indipendenti l'una dall'altra, sebbene aggregate e connesse, costituenti quasi altrettante sotto-individualità subordinate all'individualità mo-

lecolare (1); quando le unità ultime di due corpi semplici si uniscono per formare una combinazione, perdono la loro individualità, non si conservano ancora come tali nella molecola del composto; il che non esclude affatto che, mediante opportuni procedimenti, si possa dal composto riottenere i due corpi semplici e ripristinare così la loro individualità. Gli elementi, combinandosi, subiscono modificazioni tali che cessano di essere elementi e si fondono in una nuova unità, la molecola del composto. E la molecola del composto è più che un aggregato di parti staccate, è una vera e propria individualità organica, un'unità per sè stante e non analizzabile, uno degli elementi ultimi del reale. Essa differisce dalle unità ultime di un corpo semplice perchè può ottenersi solo mediante il *consumo* di corpi semplici e perchè da essa possono ricavarsi molecole di corpi semplici (o, nei termini in cui prima ci siamo espressi, perchè è capace di trasformazioni non ilotrope); ma quando il composto si è formato, si ha una nuova unità, un nuovo organismo. Non è giusto, secondo questo nostro modo di vedere, l'attribuire maggiore individualità ai corpi semplici che ai composti: da un punto di vista qualitativo dobbiamo riconoscere solo che ci sono dei corpi (elementi e combinazioni) che sono vere unità organiche, ed altri (soluzioni e miscugli) che non lo sono; e i primi, i veri individui chimici, sono caratterizzati dalle loro costanti proprietà, simili alle funzioni di un organismo.

Alcuni scienziati avevano dato, sulla base della teoria atomica e della stereochimica, una classificazione delle proprietà dei composti distribuendole in tre classi: alcune proprietà deriverebbero semplicemente dalla somma delle proprietà dei corpi semplici, rimaste inalterate nella combinazione, e potrebbero perciò esser dette « proprietà additive »; tali la massa, la rifrangibilità, le proprietà magnetiche. Altre proprietà, diverse nel composto da quelle dei componenti, dipenderebbero dalla costituzione architettonica delle molecole e potrebbero essere chiamate « proprietà costitutive », tra cui p. es. l'assorbimento della

(1) Questo non implica affatto che si debba abbandonare la comune notazione chimica. La formula empirica di un composto ci indica quali sono gli elementi che hanno formata la combinazione e in quali proporzioni si sono uniti; la formula di struttura può servire come rappresentazione simbolica della saturazione dell'affinità di un elemento per mezzo degli altri quando si fondono nella molecola del composto.

luce, il punto di fusione e d'ebullizione ecc. Infine altre proprietà non dipenderebbero nè dalla natura degli elementi nè dall'architettura molecolare, ma solo dal peso molecolare, e sarebbero perciò dette « proprietà molari », come la densità nei liquidi e nei gaz. Questa classificazione, così enunciata, ha valore solo se si ammette la teoria atomica e l'immutabilità degli elementi, e quindi non obbliga noi che a quelle concezioni non abbiamo aderito; ma corrisponde almeno ai dati dell'esperienza? In primo luogo, l'unica proprietà che potrebbe aspirare ad esser chiamata additiva è la massa: tutte le altre subiscono variazioni, sicchè nessuna delle proprietà del composto può dirsi somma o media delle proprietà dei componenti. Ma noi non osiamo neppur della massa affermare che sia proprietà additiva in senso assoluto di fronte alle scoperte sulla radioattività, le quali, se non sono ancora sufficienti a far negare il carattere di proprietà additiva alla massa, lasciano per lo meno un dubbio (1). E ci teniamo per ora al dubbio, pur avendo l'intima convinzione che tutte le proprietà degli elementi, nessuna esclusa, subiscano modificazioni più o meno larghe quando i corpi semplici si fondono per dar vita a un nuovo individuo chimico. Le proprietà dette molari si fondano in ultimo sulla natura della molecola del composto, onde non differiscono radicalmente dalle proprietà costitutive. Rimangono allora queste ultime; e certo tutte le proprietà delle combinazioni possono dirsi *costitutive*, pur d'intendere con questa parola il fatto che dipendono non già dalla configurazione degli atomi nella molecola, ma dalla costituzione propria di quell'individualità organica che è la molecola del composto. Arriviamo così, fedeli ai dati dell'esperienza, a respingere quella classificazione delle proprietà fondata su preconcetti meccanicistici e a considerare tutte le proprietà come l'espressione della natura degli individui chimici.

Concludiamo. Il compito nostro, nello studio analitico delle teorie chimiche ispirate al meccanicismo e nel tentativo di tracciare le linee di una concezione qualitativa dei processi

---

(1) L'Ostwald, rispondendo alle obiezioni mossegli dal Brillouin (nell'articolo *Pour la matière* in *Revue générale des sciences*, 1895, p. 1032), scrive (ib., pag. 1069): « En dehors de la masse, il n'y a pas de propriétés additives, au sens strict du mot. Toutes les autres propriétés qui portent ce nom ne sont additives qu'approximativement ». Ma « au sens strict du mot » neppur alla massa può darsi il nome di proprietà additiva.

chimici era assai più difficile di quel che fosse l'analoga ricerca nel campo delle teorie fisiche; perchè mentre la fisica delle qualità aveva già trovato in valenti scienziati espositori e seguaci, per quanto in forme diverse da quella che noi abbiamo ammessa, la chimica delle qualità non era stata ancora svolta convenientemente. All'infuori dello studio del WALD, di alcune pagine dell'OSTWALD e di un breve articolo del KOZLOWSKI (1), ispirato ad una forma estrema di pragmatismo che non può ricevere la nostra adesione, non era stata ancora intrapresa una critica dei concetti fondamentali della chimica con criterî moderni. Con tutto ciò noi abbiamo voluto affrontare il problema; quali i resultati sintetici della nostra indagine?

Considerando le cose dal punto di vista conoscitivo, è un fatto indubitabile che ogni distinzione tra i corpi, siano elementi o combinazioni o anche semplicemente fasi, non può esser fatta se non tenendo conto delle loro qualità; i corpi si rivelano a noi soltanto come complessi di qualità (peso e calore specifici, colore, comportamento ottico ed elettrico ecc.); la considerazione delle qualità è l'unico criterio possibile per una differenziazione, come anche per una sistematica classificazione dei corpi. E anche un fatto indubitabile che il cangiamento chimico è un cangiamento qualitativo: i cangiamenti di stato, le trasformazioni della materia, non sono altro che mutamenti nelle propietà degli agenti naturali. La descrizione dei corpi e dei loro cangiamenti, la classificazione degli individui chimici e possibilmente l'espressione matematica delle leggi del cangiamento, formano l'oggetto della scienza chimica; ma il tentativo di penetrare nell'intimo del reale, di svelare la costituzione propria della natura esterna, supera i poteri che legittimamente possiamo accordare ad un solo ramo della scienza. La chimica tuttavia può fornire al filosofo molti elementi per le ipotesi sulla natura della realtà: essa è anzi uno dei più ricchi tesori a cui deve attingere chi voglia giungere ad una soluzione adeguata e coerente dei massimi problemi della filosofia naturale.

Come di fronte alla fisica meccanicistica e alle costruzioni metafisiche ad essa inspirate ponemmo, come più semplice e più esatta visione dei compiti della scienza, la fisica qualitativa,

---

(1) KOZLOWSKI, *La combinaison chimique au point de vue de la théorie de la connaissance* (in *Bibl. du Congrès International de philosophie*, Paris, 1901, vol. III, pp. 529-543).

così di fronte alla chimica dell'architettura molecolare, la quale, sia materialista o dinamista, mediante elementi omogenei credeva di potere ricostruire tutti i corpi nella loro inesauribile varietà e tutti i cangiamenti dedurre da condizioni puramente esteriori, poniamo una chimica delle qualità, la quale, pur non essendo ancora svolta come la fisica, già si annunzia come la più sana e coerente interpretazione scientifica dei fenomeni chimici.

PARTE TERZA

LE TEORIE FISIOLOGICHE

I. Il principio delle energie specifiche nervose: svolgimento storico e conseguenze filosofiche.

Le scienze della natura esterna, quando vogliono spiegare il fatto della percezione delle qualità sensoriali, sono solite rappresentarsi i nostri organi di senso sul tipo degli strumenti fisici che servono nelle ricerche di laboratorio: l'occhio non sarebbe che una camera oscura fornita di un certo sistema di lenti, e l'orecchio una serie di risuonatori di HELMHOLTZ. Non è chi non veda il semplicismo di questa rappresentazione e la sua insufficienza a spiegare il complesso fenomeno della percezione; poichè, anche prescindendo dal fatto che l'avvertimento delle qualità sensoriali presuppone l'esistenza di un soggetto in cui le azioni fisiche esterne provochino la manifestazione di determinati atti psichici, un'innumerevole quantità di fenomeni prova che i concetti e i dati delle scienze della natura esterna esigono di essere integrati coi concetti e coi dati delle scienze fisiologiche. Così stretto è il legame, così evidente la dipendenza del mondo delle nostre qualità sensoriali dalla struttura e dalle condizioni del nostro organismo, che sarebbe vano, astraendo da questo, il tentare una spiegazione di quello. D'altra parte le nostre percezioni aumentano in intensità e in estensione coll'uso di apparecchi adatti ai nostri organi sensoriali; e se il microscopio ci ha rivelata l'esistenza d'innumerevoli esseri di cui prima nessuno sospettava l'esistenza, è ora legittimo il sospetto che neppure gli attuali strumenti ci rivelino tutte le forme di realtà e che il mondo che noi percepiamo rappresenti soltanto una limitatissima parte del mondo delle esistenze; nè potremo mai sfuggire all'ipotesi che, se fossimo forniti di altri organi di senso oltre

a quelli che possediamo, o se quelli che possediamo fossero costituiti diversamente, di più fine struttura e adattati a più perfette funzioni, il mondo della nostra esperienza si arricchirebbe della percezione di agenti che ora, data la nostra natura fisiologica, non ci si rivelano. Viceversa, le stesse scienze fisiche ci hanno guidato a negare l'esistenza di forme specifiche di energia per alcune qualità sensoriali, come il suono, gli odori e i sapori, la cui origine va riferita ad energie meccaniche o chimiche non diverse, qualitativamente, dalle energie meccaniche o chimiche di cui abbiamo cognizione per mezzo di altre percezioni. Mentre, dunque, da un lato la costituzione del nostro organismo non ci permette di percepire come qualità specifiche alcune forme di energia, e quindi fa sì che il mondo delle nostre percezioni sia molto meno ricco del mondo che viene rivelato dai mezzi di cui dispongono le scienze fisiche e chimiche, d'altro lato per il contatto tra gli agenti esterni e il nostro organismo prendono origine nuove qualità che arricchiscono per un altro verso il mondo della nostra esperienza esterna (1). Basterebbe, del resto, pensare a tutti i fenomeni di relatività delle sensazioni - sui quali dovremo trattenerci più oltre - per convincersi dell'entità del contributo fisiologico alla formazione del mondo delle nostre qualità sensoriali. La determinazione di questo contributo forma parte integrante della soluzione del problema dell'origine delle differenze qualitative; è questo l'argomento di cui dobbiamo occuparci in questa parte del nostro lavoro.

La storia di questo problema si riassume in poche linee, perchè fino al principio del secolo XIX, fin quando cioè non s' iniziarono in questo campo le ricerche sperimentali, una sola dottrina prevaleva nei fisiologi (sebbene non poche osservazioni contrarie fossero state raccolte): la dottrina dell' « eccitabilità specifica degli organi di senso », secondo la quale ciascun organo sensoriale è capace di essere stimolato soltanto da determinati stimoli esterni e resta insensibile all'azione di tutti

(1) Ciò non altera punto l'affermazione già fatta, che *tutte* le nostre qualità sensoriali sono, in un certo senso, soggettive, non perchè siano creazioni *ex nihilo*, ma perchè non sono copie nè rispecchiamento delle qualità del mondo esterno, come crede il realismo ingenuo. Le qualità sensoriali hanno *tutte* come condizione necessaria della loro insorgenza l'esistenza dell'organismo, che fa, per così dire, da termine medio tra le azioni esterne e il soggetto psichico. Ma qui noi volevamo alludere a quelle qualità e determinazioni di qualità che l'azione dell'organismo aggiunge a quelle provocate dall'azione degli agenti esterni.

gli altri stimoli; così p. es. le onde sonore possono essere raccolte dal padiglione auricolare e provocare la sensazione uditiva, ma non possono essere raccolte dalla retina e provocare sensazioni luminose. Tale dottrina risaliva in fondo ad ARISTOTELE, il quale riteneva che ciascuna qualità oggettiva potesse essere appresa da un senso speciale e soltanto da quello particolarmente adattato ad apprenderla (1).

Ma lo stesso ARISTOTELE aveva fatte osservazioni acute che dovevano guidare a riflettere sull'esattezza dell'enunciata teoria; una sensazione luminosa può essere prodotta anche se la luce non agisce sull'occhio, p. es. colpendo l'occhio a palpebre chiuse con qualche violenza (2). Aveva anche accennato all'ipotesi che i sogni derivassero da stimolazioni interne agli organi sensoriali, e gli Scettici si erano afferrati a quest'ipotesi, estendendola alla spiegazione delle rappresentazioni anche durante la veglia, per concludere che non si può distinguere una percezione reale da un sogno. Tuttavia per trovare più precise e fondate osservazioni bisogna arrivare agli inizî della filosofia moderna; l'HOBBES, non potendo spiegare per mezzo dei processi fisici ordinarî le sensazioni che apparivano anormali, come appunto le sensazioni luminose provocate da stimoli meccanici, ma volendo d'altra parte rimaner fedele al meccanicismo, cercò di interpretare come fenomeno meccanico anche l'azione consueta della luce sulla retina; e in modo analogo spiegò l'origine delle sensazioni uditive. Così invece di spiegare i fenomeni anormali o rari per mezzo dei fenomeni normali, si spiegavano questi ultimi riducendoli al modello offerto dai primi (3). L'esperienza

---

(1) Dopo aver detto che nel sentito si possono distinguere tre aspetti, il proprio o individuale (*τὸ ἴδιον*), il comune (*τὸ κοινόν*) e l'accidentale (*τό συμβεβηκός*), scrive: « *Λέγο δ' ἴδιον μὲν ὃ μὴ ἐνδέχεται ἑτέρᾳ αἰσθήσει αἰσθάνεσθαι, καὶ περὶ ὃ μὴ ἐνδέχεται ἀπατηθῆναι, οἷον ὄψις χρώματος καὶ ἀκοὴ ψόφου καὶ γεῦσις χυμοῦ. Ἡ δ' ἁφὴ πλείους μὲν ἔχει διαφοράς · ἀλλ' ἑκάστη γε κρίνει περὶ τούτων, καὶ οὐκ ἀπατᾶται ὅτι χρώμα οὐδ' ὅτι ψόφος, ἀλλὰ τί τὸ κεχρωσμένον ἢ ποῦ, ἢ τί τὸ ψοφοῦν ἢ ποῦ* » (*Περὶ ψυχῆς*, II, 6, 418 *a*).

(2) « *Θλιβομένου γὰρ καὶ κινουμένου τοῦ ὀφθαλμοῦ φαίνεται πῦρ ἐκλάμπειν · τοῦτο δ' ἐν τῷ σκότει πέφυκε συμβαίνειν, ἢ τῶν βλεφάρων ἐπικεκαλυμμένων · γίνεται γὰρ καὶ τότε σκότος* ». (*Περὶ αἰσθήσεως καὶ αἰσθητῶν*, cap. II). La spiegazione che ne dà ARISTOTELE è peraltro assai primitiva: la ripone in una supposta natura ignea dell'organo visivo.

(3) « E come premendo, frugando e percuotendo l'occhio si produce una specie di bagliore, e, premendo l'orecchio, si produce un ronzio, così i corpi, che noi vediamo o sentiamo, producono lo stesso con la loro forte, benchè non osservata, azione ». HOBBES, *Leviathan*, parte I, cap. 1 (trad. ital., Bari, 1911, vol. I, p. 8).

dell'origine di sensazioni luminose e uditive in seguito alla percussione delle palpebre e del padiglione auricolare rimase per molto tempo la sola conosciuta in questo campo; ne parla anche NEWTON senza accennare ad altre esperienze analoghe. Ma nella seconda metà del secolo XVIII lo sviluppo delle conoscenze sull'elettricità faceva scuoprire nuovi fatti importanti; il SULZER notava che le stimolazioni elettriche sulla lingua producono sensazioni gustative (1752); e dopo che l'EICHEL (1774) e più di tutti l'ELLIOT (1785), che approfondì il problema, erano tornati ad occuparsi delle sensazioni provocate da urti meccanici e notavano che mentre una pressione esercitata sull'occhio e sull'orecchio provoca sensazioni visive e uditive, sul gusto e sull'olfatto gli stimoli meccanici rimangono inefficaci, il VOLTA (1800) asseriva che la corrente elettrica può suscitare diverse sensazioni a seconda dell'organo su cui agisce: « La courant de fluide electrique... irrite... les organes du gout, de la vue, de l'ouie et du tact, proprement dit, et y produit des sensations propres à chacun ». Ed altre simili osservazioni faceva l'AUTENRIETH (1).

Colui che tentò pel primo di fornire una spiegazione di questi fenomeni fu il grande fisiologo PURKINJE, il quale, continuando la tradizione meccanicista, affermava che l'azione esercitata sulla retina da stimoli meccanici non è diversa da quella esercitata dalla luce, perchè come la luce consiste in un movimento oscillatorio comunicato dall'etere alla retina, così l'azione degli stimoli meccanici provoca delle oscillazioni sulla retina, alle quali corrispondono determinate sensazioni luminose. Gli stimoli meccanici, elettrici e organici non agiscono dunque sulla retina con azioni diverse da quelle degli stimoli luminosi: tutti provocano movimenti oscillatori della retina e perciò tutti destano sensazioni di luce. Non ostante che questa teoria fosse ancora sotto il predominio della concezione meccanica e perciò respinta più tardi dai sostenitori del principio delle energie specifiche nervose, essa costituiva un progresso nell'interpretazione dei fenomeni e al tempo stesso poneva un nuovo problema: infatti una volta ammesso che a stimoli differenti, come quelli meccanici, elettrici, luminosi, organici, la retina rispondesse sempre mettendosi in movimento oscillatorio,

---

(1) V. una succinta, ma compiuta esposizione storica nel WEINMANN, *Die Lehre von den spezifischen Sinnesenergien* (Hamburg und Leipzig, 1895).

sorgeva la questione: per quale proprietà intrinseca la retina si pone sempre in movimento oscillatorio, qualunque sia l'azione esertita dagli stimoli? E già nell'interpretazione del PURKINJE si vede accennata la teoria che enuncerà e svilupperà il MÜLLER, il quale tuttavia, sopprimendo l'inutile interposizione delle oscillazioni della retina, la libererà dai preconcetti meccanicistici e le darà un aspetto nuovo.

Bisogna intanto osservare come la teoria del PURKINJE (alla quale del resto già prima l'ELLIOT aveva fatto cenno) stesse sotto l'influsso di una delle più importanti scoperte che nel campo della fisiologia siano avvenute nei tempi moderni: la scoperta dell'irritabilità del tessuto muscolare. Il muscolo, che era prima ritenuto incapace di reagire per sè solo, inerte, passivo, dopo le lunghe ricerche di ALBERTO HALLER mostrò di possedere la capacità di reagire agli stimoli esterni mediante movimenti contrattili; si manifestava la presenza nel muscolo di un'energia latente, a cui l'HALLER diede il nome di « *vis insita* della sostanza muscolare »; a qualunque stimolo esterno che agisca sul muscolo, questo risponde sempre con reazioni di contrazione, le quali appariscono come la proprietà specifica del tessuto muscolare. Così mediante la cooperazione degli elementi attivi del tessuto muscolare (le fibre muscolari) vennero spiegate le più complesse funzioni vitali, l'intero meccanismo della vita organica. « Lo scopo della fisiologia generale - scriveva CLAUDE BERNARD nel 1872 - è di determinare accuratamente, mediante analisi sperimentali, le proprietà elementari del tessuto, per arrivare deduttivamente alla spiegazione necessaria del meccanismo vitale ».

Ma una differenza notevole si presentava in quei tempi tra il tessuto muscolare e il tessuto nervoso Il tessuto muscolare, infatti, mostrava non solo anatomicamente, ma anche e soprattutto fisiologicamente una grande omogeneità di proprietà: la contrattilità appariva la proprietà comune a tutti i muscoli, lisci e striati, ed era una forma di reazione uguale in tutti, se non per intensità, almeno per qualità [1]. Perciò si

(1) Oggi si sono modificate le idee su questo punto, e sotto l'influsso della teoria delle energie specifiche si ammette da molti una « teoria della dualità funzionale del muscolo » (BOTTAZZI). Due sarebbero le specie di contrazione del tessuto muscolare: la contrazione tetanica, formata dalla fusione di molte scosse elementari e accompagnata da forte spesa di energia: e ne sarebbe capace la sostanza fibrillare anisotropa dei muscoli; poi la contrazione tonica, durevole ed economica, localizzata nel sarcoplasma. A provocare le due forme di contrazione

poteva spiegare le complesse funzioni dei muscoli mediante la composizione delle attività uguali di elementi muscolari omogenei, e dal solo modo di aggruppamento delle fibre muscolari e dalla loro quantità in ciascun muscolo si doveva dedurre tutte le più complesse funzioni vitali. Questa spiegazione, che possiamo dire in un certo senso puramente *quantitativa*, dei fenomeni inerenti al tessuto muscolare, non poteva applicarsi ai nervi, ciascuno dei quali manifesta proprietà diverse dagli altri, giacchè ciascuno reagisce agli stimoli esterni in maniera sua propria; non bastava più ammettere un'energia propria del sistema nervoso, ma tante energie specifiche quanti sono i modi di reagire agli stimoli esterni che i nervi ci manifestano. Nacque così il *principio delle energie specifiche nervose.* E a porre in rilievo come la teoria delle energie specifiche nervose nascesse in opposizione alla concezione meccanica, possiamo osservare col MONTGOMERY che l'antitesi tra la teoria che dal modo di aggrupparsi di elementi nervosi funzionalmente omogenei deriva le diverse proprietà specifiche dei nervi e la teoria che ammette originarie ed irriducibili le energie specifiche nervose è l'antitesi stessa tra la concezione quantitativa e la concezione qualitativa della natura, non più nel mondo fisico, ma nel mondo organico; sicchè a questo punto possiamo rinnovare la domanda che ha formato e forma l'argomento principale del nostro lavoro: « Is Quality the result of difference in the numerical addition and position of qualitatively equal units, and therefore a mere function of quantity? or is Quantity itself some kind of primitive quality, the multiple discrimination of an indivisible qualitative unit? This precisely is the problem » (1). Le due concezioni si oppongono in quanto l'una - la teoria dell'indifferenza funzionale - ammette l'identità qualitativa delle diverse parti della sostanza nervosa, mentre l'altra - la teoria delle energie specifiche - ammette differenze qualitative originarie nelle funzioni delle diverse regioni del sistema nervoso. Vedremo nel seguito come le due concezioni quantitativa e qualitativa dei processi fisiolo-

---

sarebbero adeguati stimoli differenti, perchè la sostanza fibrillare formerebbe specialmente i muscoli volontarî e sarebbe quindi eccitata dai centri nervosi, il sarcoplasma abbonderebbe nei muscoli involontarî (v. IOTEYKO, *La loi de l'énergie spécifique pour les substances contractiles;* in *Archivio di fisiologia*, vol. VII, 1909, pp. 511-518).

(1) MONTGOMERY, *The Dependance of Quality on Specific Energies* (in *Mind*, vol. V, 1880, p. 4).

gici abbiano condotto a conseguenze diametralmente opposte nel mondo fisico: questa affermando che tutte le differenze qualitative, poichè hanno la loro origine nella costituzione dell'organismo, possono essere determinate da una realtà essenzialmente omogenea; quella, costretta a porre negli agenti esterni le differenze qualitative che negava al sistema nervoso, contraddicendo alle linee fondamentali di quella stessa concezione meccanica da cui si partiva.

Fu Giovanni Müller (1826) il primo a formulare esattamente e a sostenere la teoria delle energie specifiche nervose. Il Müller aveva rivolto l'attenzione principalmente alle sensazioni visive, ed era stato colpito dal fatto che stimoli differenti, come la luce, la percussione meccanica, l'eccitazione della corrente galvanica, agendo sullo stesso nervo ottico provocano sempre delle sensazioni luminose; ne aveva dedotto che la sensazione non può essere la trasmissione alla coscienza di una qualità degli oggetti, ma di una qualità inerente al nervo sensoriale, e che lo stimolo esterno, qualunque sia, è soltanto un'occasione a che il nervo sviluppi l'energia specifica propria. D'altra parte, l'azione della corrente galvanica su diversi sensi, già mostrata acutamente dal Volta, provava che uno stesso stimolo, agendo su nervi differenti, provoca differenti sensazioni, quelle che sono proprie di ciascun nervo sensoriale; dunque vi dev' essere in ciascun nervo un'energia specifica, e le sensazioni debbono essere differenti non perchè siano differenti gli stimoli, ma perchè sono differenti i nervi che l'organismo possiede. Qui possiamo subito porre in rilievo una contraddizione, che risulterà anche più chiara quando riferiremo i principî in cui il Müller formulò la sua dottrina. Poichè il primo caso - l'azione uguale di stimoli differenti - si appoggia tutta sul presupposto che noi « siamo sicuri » che gli stimoli siano differenti: altrimenti non si avrebbe da concluder nulla; invece il secondo gruppo di fenomeni - l'azione diversa di uno stesso stimolo - conduce a negare che noi possiamo conoscere differenze negli stimoli, poichè le differenze tra le nostre sensazioni dipendono soltanto dalle differenze dei nervi. Vedremo come alcuni abbiano dato maggiore importanza al primo gruppo di fenomeni, altri al secondo, e come ne siano nate conseguenze teoriche molto diverse circa il modo di concepire la realtà esterna. Il Müller concludeva dall'esame dei fenomeni stessi: « Wer die Notwendigkeit fühlte die Konsequenzen dieser Thatsachen darzudenken, musste ein-

sehen, dass die spezifische Empfänglichkeit der Nerven für gewisse Eindrücke nicht einreicht, da alle Sinnesnerven für dieselbe Ursache empfänglich, dieselbe Ursache anders empfinden; und so lernten einige einsehen, dass ein Sinnesnerv kein bloss passiver Leiter ist, sondern dass jeder eigenthümliche Sinnesnerv auch gewisse unveräusserliche Kräfte oder Qualitäten hat, welche durch die Empfindungsursachen nur angeregt und zur Erscheinung gebracht werden » (1).

Quali sono i fatti sperimentali più importanti su cui si basa la teoria del MÜLLER? Noi vi accenneremo rapidamente per non entrare in un esame che ci porterebbe troppo lontani dal nostro compito. 1° La prima e più nota differenza funzionale è quella che si riscontra tra i nervi di senso e i nervi di moto, o meglio tra i nervi centripeti e i nervi centrifughi; differenza funzionale confermata dalla diversità anatomica espressa nella celebre legge di BELL e MAGENDIE: le radici anteriori del midollo spinale contengono soltanto fibre nervose centrifughe, le radici posteriori soltanto fibre nervose centripete. Bisogna notare che il MÜLLER fu uno dei primi a sperimentare in questo campo e che anche oggi si ripete nei laboratorî, per confermare la legge suddetta, la classica esperienza della « rana di G. MÜLLER ». Il fatto poi si prestava ad ulteriori deduzioni: giacchè l'esperienza mostrava che qualsiasi stimolazione dei nervi di moto (« stiramento, compressione, spezzamento, bruciatura, scalfittura, corrente elettrica », come disse l'HELMHOLTZ) aveva sempre lo stesso effetto: il movimento dei muscoli; e le differenze nelle stimolazioni avevano per corrispettivo soltanto differenze d'ampiezza e di forza nei movimenti (differenze d'intensità). Era facile che sorgesse la supposizione che anche presso i nervi di senso si dovesse osservare la stessa proprietà di reagire in uguale maniera ai più svariati stimoli. 2° La supposizione fu confermata dalle molte esperienze condotte al riguardo. Non si può certo negare che vi siano degli stimoli che più frequentemente degli altri agiscono sopra un organo di senso; ogni organo, se anche può essere eccitato da diversi altri stimoli, è ordinariamente eccitato da uno stimolo al quale l'organo e il nervo sono particolarmente adattati, cioè dallo *stimolo adeguato;* così la luce è lo stimolo adeguato dell'occhio, mentre gli stimoli meccanici, elettrici, chimici, essendo più rari

(1) MÜLLER, *Handbuch der Physiologie* (Coblenz, 1838), vol. I, p. 780.

e per di più agendo in condizioni artificiali, sono detti *stimoli inadeguati*. La distinzione tra le due classi di stimoli appare così evidente che non può essere eliminata: gli stimoli inadeguati, per agire, debbono essere relativamente molto più intensi degli stimoli ordinarî, possono produrre solo poche qualità diverse di sensazioni (nessuno riuscirà a creare tutto il mondo delle percezioni visive, un paesaggio p. es., per mezzo di stimolazioni elettriche o meccaniche della retina), la loro azione non può essere protratta a lungo. Ma, si potrebbe dire, se questa distinzione prova l'adattamento speciale di un organo ad un determinato gruppo di stimoli, non si può negar valore alle esperienze che provano come anche agli stimoli inadeguati l'organo risponda sempre nella maniera che gli è consueta, e provano perciò anche l'esistenza di energie sensoriali specifiche. Se due nervi, come l'ottico e l'acustico, a tutte le stimolazioni adeguate e inadeguate rispondono nella stessa maniera, ciò vuol dire che la differenza tra le qualità sensoriali della luce e del suono non dipende da una differenza negli stimoli esterni, ma da una differenza qualitativa, o, secondo l'espressione del Müller, da una differenza di energia specifica tra i due nervi sensoriali. Ma, si potrebbe domandare, dovremo allora ammettere tante energie specifiche, insidenti in nervi differenti, per quante sono le qualità sensoriali che noi percepiamo? Se rispondessimo affermativamente (come risposero alcuni fisiologi posteriori, di cui diremo più oltre), cadremmo nel pericolo di una fisiologia deduttiva; la quale basandosi esclusivamente su esperienze psicologiche non solo anticiperebbe, ma addirittura sostituirebbe le ricerche di laboratorio; di più cadremmo nel difetto di erigere a principî esplicativi delle qualità le qualità stesse. Il Müller non giunse a queste conclusioni; egli ammetteva che vi fossero energie specifiche per ciascuno dei sensi, cioè per il tatto (ch'egli chiamava «Gefühlssinn», comprendendovi le sensazioni tattili, termiche, muscolari e dolorifiche), l'olfatto, il gusto, la vista e l'udito; le differenze tra le qualità sensoriali di ciascun senso, poi, dovevano dipendere da differenze negli stimoli. Dopo la distinzione fatta dall'Helmholtz delle due classi di differenze qualitative, le differenze di *modalità* tra sensazioni date da sensi diversi, e le differenze di *qualità* tra sensazioni date da uno stesso senso, si disse che, secondo il Müller, le differenze di modalità dipendono dalle energie specifiche sensoriali, le differenze di qualità in senso stretto dipendono da dif-

ferenze negli stimoli. 3° Quando si parla di stimoli, non si deve sottintendere che debbano essere esterni all'organismo; oltre che dagli stimoli esterni, i nervi sensoriali possono essere eccitati da stimoli interni (meccanici, chimici, termici) ai quali i nervi reagiscono sempre nella maniera loro propria; per modo che, se altre considerazioni non sopraggiungono, stando semplicemente ai dati fisiologici e psicologici non si potrebbe decidere se il nostro mondo delle rappresentazioni ha origine fuori dell'organismo o nell'interno dell'organismo, e dentro quali limiti si può parlare di un mondo esterno. Si badi: anche gli stimoli interni all'organismo sono esterni ai nervi eccitati, perchè non si può ammettere che un nervo determini da sè la propria eccitazione; urti di muscoli, afflussi sanguigni, decomposizioni chimiche compientisi nell'interno dell'organismo possono servire come eccitanti dei nervi senza il bisogno di oggetti esterni all'organismo. Con quest'ultima assunzione, dunque, non verrebbe in fondo accresciuto il contributo soggettivo alla formazione del mondo delle qualità sensoriali; solo bisognerebbe riguardare come un errore l'oggettivazione delle qualità sensoriali, il riferimento di esse ad oggetti esterni all'organismo.

Questi dati sperimentali condussero il MÜLLER all'enunciazione della sua «teoria delle energie sensoriali specifiche» riassunta in queste proposizioni fondamentali (1):

«1.° Per effetto di cause esterne noi non possiamo avere alcuna specie di sensazione che non possiamo egualmente avere senza dette cause per la sensazione degli stati dei nostri nervi». Per stimolazioni interne del nostro organismo si hanno sensazioni di caldo, di freddo, di dolore, di piacere, sensazioni olfattive e gustative, susurri e tintinnii agli orecchi, bagliori agli occhi ecc.; in condizioni patologiche l'eccitabilità dei nervi è esaltata, d'onde le allucinazioni. Gli «stati dei nervi», come abbiamo avvertito, sono determinati da queste eccitazioni endoorganiche.

«2.° La medesima causa esterna, o la medesima causa interna, produce sensazioni differenti nei diversi sensi, in ragione della loro propria natura o della sensibilità specifica di

(1) Io le riferisco dal trattato del LUCIANI, *Fisiologia dell'uomo*, vol. IV, pp. 6-9 (2ª ediz., 1911). Sono poi riportate colle parole stesse dell'autore dal WEINMANN, op. cit., e dal POST, *Johannes Müllers philosophische Anschauung* (Abh. z. Philos. u. ihrer Gesch. hgg. v. B. Erdmann, XXI; Halle, 1905), pp. 18-22.

essi ». Qui vanno elencati tutti i casi già ricordati dell'azione della corrente elettrica sui diversi sensi, degli urti meccanici ecc., tra le azioni esterne; e lo stato iperemico degli organi di senso, le azioni chimiche ecc., tra quelle interne.

« 3.° Le sensazioni proprie a ciascun nervo sensoriale possono essere provocate da molteplici influenze sia interne che esterne. La sensazione è la trasmissione alla coscienza non di una qualità o di uno stato dei corpi esterni, ma di una qualità, di uno stato del nervo sensoriale, determinato da una causa esterna, e queste qualità sono differenti nei differenti nervi sensoriali ». Questa proposizione richiede alcune dilucidazioni. Nella prima parte enuncia un fatto di esperienza su cui ci siamo già trattenuti; nella seconda parte invece dà una interpretazione dell'origine delle percezioni. Qui bisogna notare che Giovanni Müller, oltre che dalle ricerche sperimentali (il problema delle energie specifiche, infatti, nacque soltanto nella fisiologia), fu anche spinto alla formulazione della sua teoria dalle proprie idee filosofiche d'indirizzo kantiano. Come Kant aveva affermato che l'origine della nostra conoscenza non ci fa tanto sapere che cosa è la realtà esterna, quanto piuttosto come siamo fatti noi che conosciamo, così il Müller dice che per mezzo della sensibilità non apprendiamo le qualità o gli stati delle cose esterne, ma le qualità e gli stati dei nervi sensoriali; delle cose esterne, concludono l'uno o l'altro, nulla possiamo sapere, perchè ogni conoscenza che ne abbiamo si risolve nei dati della sensibilità e la sensibilità ci dà solamente i fenomeni. Ma il Müller non soltanto per questa concezione della natura della sensibilità si accostava a Kant; egli voleva anche dimostrare « sperimentalmente » l'esistenza dell'a-priori kantiano, concretandolo nelle energie specifiche sensoriali. Parlando dello spazio come forma a-priori dell'intuizione esterna, Kant si era domandato: come può esserci nello spirito un'intuizione esterna (qual'è l'intuizione spaziale) che *preceda* le impressioni che vengono dagli oggetti? « Evidentemente, rispondeva, non altrimenti che in quanto essa ha sua sede soltanto nel soggetto, come formale disposizione di esso ad essere modificato dagli oggetti, e a conseguire in tal modo la loro immediata rappresentazione, ossia in quanto forma del senso esterno in generale » (1). Analogamente al modo come Kant

(1) Kant, *Critica della ragion pura* (trad. ital.), vol. I, p. 69.

concepiva l'origine dell'intuizione spaziale, il MÜLLER vuole spiegare l'origine delle qualità sensoriali, riponendola nelle predisposizioni dell'organismo a ricevere le modificazioni provenienti dagli oggetti esterni. È bene per altro osservare subito che questa materializzazione dell'a-priori kantiano nelle energie nervose è arbitraria. In primo luogo, le forme dell'intuizione sono, in KANT, le maniere in cui il soggetto, lo spirito, ordina la materia della conoscenza empirica, e sono per questo anteriori all'esperienza. « Se l'attitudine recettiva del soggetto ad essere modificato dagli oggetti precede necessariamente ogni intuizione di questi oggetti, è facile intendere che la forma dei fenomeni tutti può esser data prima di ogni specifica effettiva percezione, e perciò può esser data nello spirito, a-priori » (1). Invece le energie specifiche del MÜLLER non servono ad ordinare un mondo caotico di rappresentazioni negli schemi preesistenti, nel soggetto, alla formazione della conoscenza empirica, ma costituiscono esse stesse il mondo delle rappresentazioni e richiedono quindi sempre l'intervento *dello spirito* colle sue funzioni sintetiche (le categorie) per ordinare i dati dell'intuizione. In secondo luogo, se KANT poteva (a ragione o a torto) considerare lo spazio come forma a-priori dell'intuizione, non poteva considerare come *forme* le qualità sensoriali, perchè ogni forma richiede una *materia* a cui si applichi, mentre le qualità sensoriali costituiscono appunto la materia della conoscenza empirica. In terzo luogo, le categorie in tanto sono intelligibili (e giustificate nel sistema kantiano) in quanto è a loro attribuita la funzione unificatrice dei dati dell'esperienza, i quali vengono, per loro mezzo, ridotti in quell'organismo di rappresentazioni coerente e razionale in cui si rispecchia l'unità del soggetto; ma dov'è l'unità delle diverse energie specifiche dei nervi? dov'è il principio sistematore? Le energie specifiche nervose rimangono qualche cosa di slegato e d'incoerente, laddove l'a-priori kantiano voleva essere appunto il principio d'unificazione dell'esperienza. Perciò dobbiamo ritenere senza fondamento le analogie che il MÜLLER credeva di trovare tra la sua teoria delle energie nervose specifiche e la teoria kantiana delle forme a-priori dell'intuizione. Non c'è rapporto tra le energie specifiche dei nervi e le categorie dello spirito. La teoria del MÜLLER va con-

(1) KANT, *Critica della ragion pura* (trad. ital.), vol. I, p. 70.

siderata come una spiegazione fisio-psicologica del fatto della sensazione, non altro; e il concetto mülleriano della sensazione è questo: le sensazioni derivano dall'azione di oggetti sconosciuti sopra i nostri nervi di senso; le qualità sensoriali prendono origine nel sistema nervoso e quindi non ci dicono nulla sulla natura della realtà esterna. Ma poichè vi è un largo gruppo di differenze qualitative che dipendono dalle variazioni degli stimoli esterni, dalle leggi del cangiamento delle nostre rappresentazioni possiamo arguire le leggi dei cangiamenti degli oggetti esterni; non possiamo dire, degli oggetti, « che cosa sono », ma soltanto « come mutano, quali leggi regolano il loro divenire » (1): solo a questo patto è giustificata la scienza della natura esterna. Ma, e le energie specifiche, poi, che sono? in che consistono le differenze che a noi si manifestano come differenze di qualità sensoriali? Non lo sappiamo nè potremo mai saperlo; « l'essenza degli stati nervosi mediante i quali essi veggono la luce e sentono il suono, la natura del suono come qualità del nervo acustico, quella della luce come qualità del nervo ottico, quella del gusto, dell'odorato, del tatto, ci resteranno eternamente occulte: noi non le conosceremo giammai, come non perverremo alla conoscenza delle cause finali in fisica » (2).

« 4.° È ignoto se le cause delle energie diverse dei nervi sensoriali abbiano sede in loro stessi o nelle parti del cervello o del midollo spinale in cui terminano; ma è indubitato che le parti centrali dei nervi di senso del cervello sono capaci di provocare le sensazioni proprie di ciascun senso, indipendentemente dai conduttori nervosi ». In quest'ultima proposizione è posta, senza risolverla, la questione della *sede* delle energie specifiche. Ai tempi del Müller le ricerche erano ancora troppo scarse per poter fornire una risoluzione del problema, ma gli studî posteriori hanno confermate le previsioni del Müller, che propendeva verso la tesi che i nervi siano semplici conduttori delle eccitazioni, indifferenti funzionalmente, e che la sede delle energie specifiche vada posta nelle terminazioni nervose cerebrali. Il fatto, accennato dal Müller,

---

(1) Cfr. Helmholtz, *Die Thatsachen in der Wahrnehmung* (Berlin, 1879), p. 13.

(2) Riferito da Luciani, op. cit. p. 8. Si noti fin d'ora l'errore della psicologia materialista mülleriana, là dove dice che « i nervi sentono, vedono »; ne parleremo più oltre.

che le stimolazioni dei centri provocano le sensazioni proprie di ciascun senso, non prova nulla, perchè anche le stimolazioni fatte lungo il percorso dei nervi conduttori provocano le stesse sensazioni; ma oggi vi sono varie esperienze decisive. Vi è anzitutto il fatto della « doppia conduzione » per cui, in alcuni casi, una stimolazione fatta in un tratto di un nervo di senso o di un nervo di moto non si trasmette in una sola direzione, rispettivamente centripeta o centrifuga, ma insieme in ambedue le direzioni, verso il centro e verso l'organo periferico. « Dalla legge della doppia conduzione si può logicamente argomentare che i nervi di moto e quelli di senso non differiscono essenzialmente per la loro intima costituzione. Se in condizioni normali i primi conducono centrifugalmente e i secondi centripetalmente, ciò non dipende da un'intrinseca differenza specifica, ma dalla specificità dell'organo con cui si trovano in rapporto al centro o alla periferia, e al quale essi trasmettono l'eccitamento. Se l'eccitamento centrifugo dei nervi di senso, e l'eccitamento centripeto dei nervi di moto non determina sperimentalmente alcun effetto sensibile di moto e rispettivamente di senso, ciò deve avvenire perchè all'estremo periferico dei primi, e all'estremo centrale dei secondi esiste una disposizione, finora del tutto ignota nella sua natura, che impedisce all'eccitamento di propagarsi, come farebbe di una corrente liquida un apparecchio valvolare » (1). L'idea che le energie specifiche risiedano nei nervi fu sostenuta da valenti fisiologi, in parte fondandosi sulla dubbia teoria istologica dei neuroni che permetteva di considerare le fibre nervose come unità ben individuate, capaci di possedere, come sosteneva p. es. l'Hering, per la loro natura, o congenite o ereditarie le energie qualitativamente diverse. Ma i più dei fisiologi e i maggiori, come il Du Bois Reymond e l'Hermann, annettevano la massima importanza alle terminazioni centrali, cioè alle cellule gangliari del midollo spinale e alle varie parti del cervello. Col decadimento della teoria del neurone e col prevalere delle teorie che ammettono la rete fibrillare diffusa, veniva a mancare una delle basi più solide per la prima ipotesi; l'esperienza della sostituzione di un nervo all'altro e della saldatura dei nervi differenti (p. es. il moncone periferico del vago fu saldato col ganglio superiore del simpatico, ecc.), con perfetto

(1) Luciani, *Fisiologia dell'uomo*, vol. III, pp. 234-35 (2ª ediz., 1905).

ristabilimento funzionale, ha formato un secondo e valido argomento a favore della tesi dell'indifferenza funzionale dei condotti nervosi e della specificità delle cellule gangliari [1]. Infine vi è un ultimo argomento che si può trarre dalla diversa azione che hanno alcuni veleni sulle cellule nervose spinali: l'azione eccitante della stricnina si localizza prevalentemente nelle cellule sensitive, mentre l'acido fenico eccita piuttosto le cellule motrici; d'onde è giusto dedurre una differenza specifica degli elementi nervosi su cui i veleni stessi agiscono [2]. Con queste esperienze venne dunque confermata l'ipotesi che la sede delle energie specifiche siano i centri nervosi, e venne al tempo stesso aperta la via alle ricerche sulle localizzazioni cerebrali. Di queste dovremo parlare tra breve; per ora accenniamo che tanto le terminazioni periferiche dei nervi (gli organi di senso), quanto le terminazioni cerebrali (i centri) hanno la massima importanza tra le condizioni fisiologiche dell'origine delle qualità sensoriali.

Abbiamo così esposti i principî della teoria del Müller corredandoli delle osservazioni che ci apparvero opportune. Ma la teoria delle energie specifiche nervose non si è fermata alle tesi mülleriane; altri illustri fisiologi l'hanno svolta, ampliata e in parte modificata; è opportuno, prima di passare alla critica, dare uno sguardo a questa successiva estensione della teoria delle energie specifiche, anche perchè diverse sono le conseguenze gnoseologiche e metafisiche che ne furon dedotte.

Abbiamo notato come l'indicazione dei nervi funzionalmente specificati fosse fatta più che altro con criterî psicologici: là dove si notavano modalità diverse di sensazioni, si ammettevano nervi dotati di energie specifiche. Ma mentre il Müller si era limitato ad ammettere le energie specifiche solo in corrispondenza delle modalità delle sensazioni, altri vollero estenderle alle qualità di una stessa modalità e riconoscere per tutte le differenze qualitative che noi osserviamo nel nostro mondo dell'esperienza, altrettante differenze di energie specifiche - il che vuol dire, in ordine al substrato anatomico delle energie stesse, altrettante fibre nervose, terminazioni periferiche e terminazioni centrali per quante sono le qualità senso-

---

(1) Luciani, op. cit., vol. III, p. 294. Ciò non basta per altro a negare del tutto le energie specifiche, ma solo la specificità delle vie nervose conduttrici.

(2) Luciani, op. cit., vol. III, pp. 297-98.

riali. Colui che, raccogliendo i risultati delle ricerche anteriori, compì e sistemò questa estensione del principio delle energie specifiche, fu l'HELMHOLTZ. E l'estensione era facilmente suggerita intanto dal fatto che le differenze di modalità e le differenze di qualità in senso stretto sono solo parzialmente distinguibili; certe differenze che al MÜLLER sembravano di qualità, come p. es. quelle tra le sensazioni tattili di pressione e le sensazioni termiche, non sono di minore importanza delle differenze di modalità; e talvolta si può avere passaggio continuo dalla sensazione di una modalità ad una sensazione di modalità diversa (p. es. da una intensa sensazione gustativa di salato ad una sensazione tattile di titillamento della superficie linguale). D'altra parte, l'unico fondamento della distinzione tra qualità e modalità era in ultima analisi questo: come modalità diverse erano considerate le sensazioni apprese da organi diversi; ma perchè non si potrebbero ammettere organi diversi per ciascuna qualità sensoriale? In questo indirizzo di ricerche si posero molti fisiologi, tra i primi dei quali va ricordato il NATANSON, il quale incominciò col fare l'analisi della sensibilità tattile, ammettendo tre specie di nervi forniti di energie specifiche sensoriali: i nervi delle sensazioni termiche, i nervi che percepiscono le resistenze e i nervi che percepiscono i contatti. Passando poi all'analisi del gusto e dell'olfatto, pensava che le molteplici qualità di questi sensi derivassero dalla combinazione di qualità date da un numero determinato di terminazioni nervose specifiche; infine, prevenendo posteriori teorie, ammetteva nell'organo della vista tre « Grundorgane » per i tre « Grundfarben », distinguendo nel nervo ottico tre fibre in cui preesistesse la capacità di dar luogo alle corrispondenti sensazioni: « Es ist also die Empfindung des Rothen, Gelben und Blauen im Opticus so zu sagen präformiert » (1).

Le teorie fisiologiche dell' HELMHOLTZ sull'udito e sulla vista sono troppo note perchè ne occorra un'ampia esposizione; non dovendo, pel nostro scopo, fare altro che indicare l'indirizzo assunto dalle ricerche fisiologiche in questo campo, ci limiteremo ad un sommario riassunto delle celebri teorie. Quanto all'udito, l'HELMHOLTZ vuole trovare un correlato istologico da un lato per le differenze qualitative (differenze

(1) V. WEINMANN, *Die Lehre von den spezifischen Sinnesenergien*, pp. 22-24. Il NATANSON scriveva così nel 1844.

di altezza) tra i suoni, dall'altro per le stimolazioni esterne (i movimenti vibratorî) di cui le nostre sensazioni sono il segno. Egli ammette dunque tante fibre nervose quanti sono i suoni di diversa altezza che noi percepiamo, e come terminazioni periferiche delle fibre nervose considera le cellule formanti l'organo del Corti. Al tempo stesso, preoccupato di dare una spiegazione fisica del fatto dell'audizione, considera ciascuna terminazione delle fibre nervose uditive come un semplice risuonatore che venga posto in vibrazione da un movimento oscillatorio dell'aria di determinata rapidità; così le fibre nervose, mentre sono già specificamente diverse, diventano poi eccitabili da stimoli esterni diversi; un suono di determinata altezza viene « sentito » da una determinata fibra nervosa, e suoni diversi eccitano fibre nervose distinte (1); così le varie qualità delle sensazioni uditive vengono ricondotte alle differenti energie specifiche delle fibre poste in eccitamento.

Analogo procedimento l'Helmholtz ha seguito nell'ottica fisiologica. Combattendo la teoria del Brewster, il quale ammetteva l'esistenza nella luce solare di tre specie di raggi, rossi, gialli e azzurri, differenti per grado di rifrangibilità, dalle cui combinazioni deriverebbero tutti gli altri colori dello spettro, l'Helmholtz osserva che la combinazione dei colori in modo da formarne dei nuovi non è un fenomeno d'ordine fisico, ma fisiologico e trova la sua ragione soltanto nelle proprietà specifiche del nervo ottico (2). Perciò quando si ricercano i colori fondamentali non si deve credere di fare una ricerca di fisica, ma di psicofisiologia (3). Rinnovando una teoria dei colori già formulata

---

(1) « Es wird also jeder einfache Ton von bestimmter Höhe nur durch gewisse Nervenfasern empfunden werden, und verschiedene hohe Töne werden verschiedene Nervenfasern erregen ». Helmholtz, *Die Lehre von den Tonempfindungen* (1863), pp. 219-20.

(2) « Diese Vereinigung der Eindrücke zweien verschiedener Farben zu einem einzigen neuen Farbeneindruck ist offenbar ein rein physiologisches Phänomen, und hängt nur von der eigenthümlichen Reactionsweise des Sehnerven ab ». Helmholtz, *Ueber die Theorie der zusammengesetzen Farben*, in *Wiss. Abh.*, II, p. 3.

(3) Lo Schwarz (*Das Wahrnehmungsproblem*, pp. 175 sgg) insiste molto nel mostrare che l'impiego fatto dall'Helmholtz del principio delle energie specifiche è molto diverso da quello fattone dal Müller, in quanto il primo ha applicato nelle ricerche fisiologiche un metodo puramente fisico, mentre il secondo vi avrebbe introdotto, arbitrariamente, un metodo « unphysikalische ». Gli argomenti recati dallo Sch. a sostegno di questa tesi sono: l'analogia stabilita da H. tra le corde di un pianoforte e le terminazioni nervose dell'organo del Corti, che sarebbero messe

dall' Young (nel 1807, quindi molto prima della teoria delle energie specifiche), l' Helmholtz sostiene che le tre sensazioni fondamentali di colore (rosso, verde, violetto) ci vengono date dall'eccitazione delle terminazioni periferiche di tre fibre nervose diverse, che posseggono le energie specifiche corrispondenti alle tre qualità sensoriali. Quando vengono eccitate contemporaneamente due o tre fibre nervose differenti, dall'intensità dell' eccitazione, dalla parte più o meno preponderante che una delle fibre prende alla reazione, nascono tutte le altre sensazioni di colore, non solo quelle dei colori dello spettro solare, ma tutte quelle che formano il sistema delle nostre sensazioni cromatiche. Questa teoria, com' è noto, venne più tardi modificata dall' Hering, il quale invece delle tre terminazioni nervose specifiche ammise tre diverse sostanze nervose visive corrispondenti ai tre colori fondamentali, le quali dall'azione degli stimoli esterni verrebbero decomposte dando luogo alla visione dei tre colori, e ricomposte dando luogo alla visione dei colori complementari. L' una e l' altra teoria derivano del resto dall' ipotesi delle energie specifiche.

Nello stesso indirizzo di ricerche altri fisiologi giungevano ad analoghe conclusioni per gli altri organi di senso. L' Hermann, nell'anno stesso (1863) in cui l' Helmholtz aveva pubblicata la teoria dei suoni, estendeva gli stessi principî metodici all'olfatto, al gusto e al tatto; e più tardi pel gusto si cercò di

---

in risonanza dalle vibrazioni dell'aria; la corrispondenza tra la teoria dei suoni e la teoria dei colori, tale che se quella è una spiegazione fisica, questa non lo è meno; infine la concezione meccanica della natura in generale. Ma gli argomenti dello Sch. su questo punto non reggono. Il luogo ora citato (p. preced. n. 2) dimostra che H. sapeva benissimo che l'indirizzo delle sue ricerche era d'indole fisiologica; tutta la polemica contro Brewster è improntata al concetto che una spiegazione delle qualità sensoriali è impossibile coi dati della fisica; egli pone espressamente in luce il paralogismo in cui cadeva il fisico inglese, il quale per stabilire, oggettivamente, quali sono i colori fondamentali dalla cui composizione risultano tutti gli altri, non poteva fare a meno di fondarsi sull'osservazione psicologica delle combinazioni dei colori considerati come qualità sensoriali (v. *Ueber Herrn D. Brewster's neue Analyse des Sonnenlichtes* in *Wiss. Abh.*, vol. II, spelcialm. pp. 25-26). Non solo, ma H. sapeva di proseguire l'opera di Giov. Müller (nel cui celebre « *Archiv f. Anatomie und Physiologie* » pubblicò la citata memoria sulla composizione dei colori); scrisse infatti che la sua teoria fisiologica del suono era « ein Schrift ähnlicher Art, wie ihn in einem grösseren Gebiete Joh. Müller durch seine Lehre von den spezifischen Sinnesenergien gethan hat » (*Die Lehre von den Tonempfindungen*, p. 220). E altrove, dopo avere esposti i principali punti della sua teoria dei colori, concludeva: « Daraus ergiebt sich unabweisslich der schon von Müller gezogene Schluss, dass das Eigenthümliche der Lichtem-

distinguere quattro specie di terminazioni, corrispondenti alle sensazioni del dolce, dell'amaro, dell'acido e del salato; nel tatto furono distinte terminazioni sensibili alle temperature ed altre sensibili alla pressione; e un'analoga distinzione fu supposta, senza poterla provare a causa della grande difficoltà delle ricerche, nell'olfatto. Ciò che formava la guida delle ricerche era sempre il concetto che là dove noi percepiamo qualità differenti dobbiamo trovare energie specifiche diverse e quindi substrati anatomici distinti. Perciò l'attenzione dei fisiologi fu presto attratta dal senso termico, le cui sensazioni presentano la singolarità di essere a volta a volta differenti o di qualità (caldo e freddo) o soltanto d'intensità (più o meno caldo, più o meno freddo). L' Hering, seguendo la sua concezione chimica delle stimolazioni sensoriali, non ammetteva differenze di energia nei nervi sensibili alla temperatura, e pensava che la stessa fibra nervosa potesse generare sensazioni di caldo o di freddo secondo che l'azione dello stimolo provocava un processo di disassimilazione o di assimilazione nelle cellule terminali della fibra. Il Rosenthal combattè quest' ipotesi dal punto di vista teorico, perchè era evidentemente contraria al principio delle energie specifiche; poi, sul terreno sperimentale, il Blix e il Goldscheider, indipendentemente l'uno dall' altro, scuoprirono i così detti « punti di caldo » e « punti di freddo » cioè distinte terminazioni nervose la cui

---

pfindung nicht von den besonderen Beschaffenheit des Lichtes, sondern von den besonderen Thätigkeit des Sehnerven herruhre, der, wovon er auch angeregt sein mag, immer nur Empfindungen von der Qualität der Lichtempfindungen hervorbringt »; e questa, continua, è la ragione per cui *lo stesso* stimolo esterno che percepiamo colla pelle come qualità termica, viene appreso dall'occhio come luce colorata (*Ueber die Natur der menschlichen Sinnesempfindungen*, in *Wiss. Abh.*, II, pag. 605). Quanto, infine, alle convinzioni meccanicistiche di H. addotte dallo Sch., non possono essere negate, non ostante il valore fenomenico che H., kantiano, dava ai processi meccanici; ma l'ipotesi meccanicistica sulla natura della realtà esterna non contraddice affatto al principio delle energie specifiche, anzi, come diremo più oltre, ne è stata in parte confermata; perchè con questo principio si pone soltanto nell'organismo delle differenze qualitative, e quindi si può benissimo concepire la realtà esterna come omogenea. Se le fibre del Corti vengono « messe in movimento » dalle vibrazioni dell'aria o meglio del liquido labirintico (e fin qui siamo sempre nel campo della fisica), rimane sempre nelle fibre nervose la proprietà specifica di trasformare questi movimenti vibratorî nelle qualità sensoriali connesse specificamente con ciascuna fibra; e questa sarà legge fisiologica, non più fisica. In questo senso va intesa la teoria di H. La quale certo differisce in parte da quella mülleriana, ma non nel senso indicato dallo Sch., e noi lo indicheremo poco più innanzi.

eccitazione dà luogo soltanto a sensazioni di caldo e, rispettivamente, di freddo. E si andò anche più oltre nell'analisi dei sensi cutanei; mentre il MÜLLER aveva creduto che le eccitazioni del nervo tattile, ed esse sole, fossero capaci di provocare sensazioni dolorose, i fisiologi posteriori, come il PREYER e l'HORWICZ, ammisero l'esistenza di nervi speciali per la sola funzione di destare sensazioni di dolore.

Finalmente, col principio delle energie specifiche fu connessa la teoria nativistica dell'origine delle percezioni spaziali, che ebbe nello STUMPF un efficace sostenitore. Avverso tanto alla dottrina kantiana dello spazio come forma a priori dell'intuizione, quanto all'empirismo, lo STUMPF afferma che la spazialità forma con le qualità sensoriali un tutto indivisibile, l'unità della rappresentazione, e che quindi la percezione dello spazio è altrettanto originaria e diretta quanto la percezione della qualità; allora, come vi sono delle basi fisiologiche per la percezione delle differenze qualitative, così vi devono essere delle basi fisiologiche per la percezione delle differenze spaziali. Accanto alla classe delle energie specifiche qualitative, continua lo STUMPF, dobbiamo ammettere la classe delle energie specifiche locali: fondamento le une della rappresentazione delle qualità, condizione le altre delle rappresentazioni di spazialità. Nei diversi sensi possono prevalere le une o le altre forme di energia specifica, p. es. nell'udito prevalgono le energie qualitative, nella vista le energie « topogene » (1).

Nè ancora si fermò qui l'estensione del principio delle energie specifiche; perchè, dopo che ROSENTHAL ed HERING lo ebbero applicato a tutti quanti i nervi (sensoriali, motori, secretori) ed altri ai muscoli, una grande quantità di ricerche, che noi non accenniamo neppure perchè escono affatto dal nostro campo, ma che ricordiamo per mostrare a qual mèta abbia condotto l'estensione del principio che dobbiamo discutere, ha avuto per risultato finale questo concetto: che gli stimoli agenti

---

(1) « Für die Ostverschiedenheiten unsrer Empfindungen müssen nach nativistischer Anschauung.... ebenso bestimmte physiologische Bedingungen existieren, wie für die qualitative Verschiedenheiten. Und zwar müssen hier offenbar räumlich getrennte Nervenelemente selbst es sein, welche vermöge einer verschiedenen materiellen Beschaffenheit verschiedene Orte in der Empfindung erzeugen. Wir müssen deshalb zwei Klassen spezifischer Energieen annehmen: neben den qualitativen (qualitätserzeungenden) die lokalen (ortserzeugenden) ». STUMPF, *Tonpsychologie* (Leipzig, 1890), vol. II, p. 124.

sulla sostanza vivente in generale provochino reazioni la cui forma non è determinata dalla natura degli stimoli, ma dalla natura della parte eccitata. « La grande scoperta di GIOVANNI MÜLLER dell'energia specifica sensoriale per gli animali provvisti di organi di senso è quindi un fenomeno generale, essenziale di tutta la sostanza viva. Tutta la sostanza viva possiede un'energia specifica nel senso determinato da GIOVANNI MÜLLER, perchè dentro dati limiti gli stimoli più varî in una stessa forma di sostanza viva dan luogo a fenomeni uguali, mentre reciprocamente uno stesso stimolo produce nelle differenti forme della sostanza viva un'azione diversa, caratteristica per ogni forma » (1).

Dal principio delle energie specifiche furono tratte delle conseguenze filosofiche in doppio senso: nella gnoseologia, nel senso di un fenomenismo radicale o di un idealismo soggettivistico; nella filosofia della natura, nel senso del meccanicismo. Le prime conseguenze gnoseologiche del principio mülleriano erano in fondo queste: che tra la natura degli stimoli esterni e le nostre qualità sensoriali non c'è nessuna corrispondenza, giacchè quelli possono variare indipendentemente da queste e queste dipendono soltanto dalla natura dei nervi eccitati. Soggettività assoluta di tutte le qualità sensoriali ed impossibilità di conoscere nè per esperienza nè per inferenza dai dati dell'esperienza la natura degli agenti esterni: la cosa in sè che si cela sotto il mondo delle nostre rappresentazioni non è affatto conoscibile. Già dicemmo che il MÜLLER voleva dare una dimostrazione sperimentale della fenomenalità della nostra conoscenza, secondo il concetto di KANT. Ma alcuni diedero una interpretazione più radicalmente soggettivistica del principio mülleriano; l'HELMHOLTZ stesso, pur essendo incline al kantismo, scriveva che « la teoria di FICHTE sulla percezione sensoriale si trova in perfetto accordo colle conclusioni che più tardi la fisiologia degli organi sensoriali ha tratte dai dati dell'esperienza »; ed altri spinsero il paragone tra le due dottrine fino al punto di identificare l'« attività libera dell'*io* che pone di fronte a sè il *non-io* » colle energie specifiche che creano il mondo delle qualità sensoriali, e ne dedussero che tanto pel MÜLLER quanto pel FICHTE il mondo delle rappresentazioni è una creazione del soggetto.

---

(1) VERWORN, *Fisiologia generale* (trad. ital., Torino, 1898), p. 473.

Queste conseguenze radicali non sono per altro conformi allo spirito del principio del MÜLLER; è vero che, secondo la sua psicologia alquanto grossolana, le qualità sensoriali sono « stati » dei nervi; ma questi stati sono sempre suscitati in essa da stimoli esterni ai nervi, stimoli che saranno ora interni all'organismo, ora agiranno dal di fuori attraverso gli organi di senso, ma che debbono agire perchè nasca il mondo delle rappresentazioni; invece pel FICHTE è un'attività libera dello spirito quella che, incoscientemente, crea il mondo delle rappresentazioni come un limite posto di fronte all'*io* (1). Perciò il principio delle energie specifiche non può essere assunto dall'idealismo per provare che il mondo esterno non ha nessuna consistenza; il MÜLLER rimane sempre sul terreno del realismo kantiano, ammettendo l'esistenza di stimoli esterni e riconoscendo insieme l'impossibilità di conoscere la cosa in sè.

D'altro canto, nel campo della filosofia della natura il principio delle energie specifiche si prestava ad altre illazioni. Se l'origine di tutte le differenze qualitative sta nella struttura e nel funzionamento dell'organismo, se gli stimoli esterni si equivalgono nelle loro azioni, perchè sono capaci di destare le più varie sensazioni, si poteva pensare che la realtà esterna fosse in sè stessa omogenea, priva di differenze qualitative, e che dall'azione di stimoli omogenei su organi sensoriali specificati emergessero le apparenze di differenti qualità. Anche qui dobbiamo avvertire che queste deduzioni non erano conformi al pensiero genuino del MÜLLER, per il quale era un fatto essenziale non solo che uno stesso stimolo agendo su nervi differenti provocasse sensazioni differenti, ma anche e soprattutto che *stimoli differenti,* come la luce, l'elettricità, l'urto meccanico, agendo sullo stesso organo provocassero la medesima sensazione. Abbiamo già accennato che vi era un'incongruenza gnoseologica tra i due gruppi di fatti su cui si fonda il principio delle energie specifiche, e che, a rigore, non si potrebbe dire su quali criterî chi accetta quel principio si possa fondare per riconoscere una diversità negli stimoli; certo è che il MÜLLER dava a questa presupposta diversità un'importanza capitale per la sua dottrina, e si poneva così contro la concezione meccanica della natura. Inoltre, il MÜLLER, come abbiamo detto, ammetteva che soltanto le *modalità* delle sensazioni avessero la loro origine

(1) V. POST, *Johannes Müller's philosophische Anschauungen*, pp. 46-48.

in energie preformate nei nervi, ma le qualità di ciascuna modalità faceva dipendere dalle variazioni degli stimoli; anche per questo verso egli si poneva contro la concezione meccanica. Ma ad altri piacque il dedurre dal principio delle energie specifiche una conferma per la concezione meccanica che dalle variazioni quantitative di una realtà omogenea faceva dipendere la molteplicità delle qualità sensoriali. Il meccanicismo, cacciato dal mondo organico, riappariva nel mondo esterno; la fisica meccanica e la fisiologia delle energie specifiche finivano col convergere nel medesimo fine di negare ogni realtà alle differenze qualitative.

Qui per altro bisogna notare come tra la teoria del Müller da un lato e quella dell'Helmholtz e degli altri che estesero a tutte le qualità sensoriali il concetto delle energie specifiche dall'altro vi sia una differenza che non va trascurata. Quello che vi era di essenziale nella dottrina mülleriana era appunto il presupposto or ora notato: cioè che stimoli differenti, anzi che *qualsiasi* stimolo, agendo sopra un nervo, provoca sempre la medesima forma di reazione; ma dopo avere esteso il concetto di energia specifica e dopo aver ammesso tante terminazioni nervose, nervi conduttori e centri per quante sono le qualità sensoriali, non si poteva più ammettere che uno stimolo qualsiasi fosse capace di eccitare indifferentemente qualunque nervo, perchè da un lato l'esperienza mostrava che vi sono stimoli la cui azione, efficace sopra alcuni sensi, rimane inefficace sopra altri, e dall'altro bisognava spiegare come accade che quando uno stesso stimolo agisce contemporaneamente su più terminazioni nervose (p. es. su tante cellule del Corti, sulle tre supposte fibre della retina ecc.), soltanto alcune ne rimangono eccitate e provocano l'insorgenza delle qualità sensoriali corrispondenti, mentre le altre non vengono messe in funzione. Bisognava, insomma, riconoscere una certa correlazione tra lo stimolo e la fibra eccitata: ogni stimolo può eccitare solo una fibra e non altre, e ciascuna fibra, capace di entrare in funzione per l'azione di quello stimolo al quale è particolarmente adattata, deve rimanere insensibile all'azione degli altri stimoli. Così mentre il Müller aveva cercato di eliminare la distinzione tra stimoli adeguati e stimoli inadeguati, l'Helmholtz, al quale è dovuta questa seconda forma della teoria, mirava ad accentuarla, perchè riconosceva in fondo che ogni singola fibra ha il suo stimolo adeguato e tutti gli altri stimoli sono per lei inade-

guati. Come si vede, ci si avvicinava di nuovo alla teoria classica dell'eccitabilità specifica dei nervi: del principio delle energie specifiche rimaneva sempre il concetto fondamentale che le qualità sensoriali hanno la loro origine nei nervi e non negli stimoli esterni. Ma questa seconda forma meglio ancora della prima si adattava alla concezione meccanica della natura: l'Helmholtz infatti ammetteva che fossero le differenze nella rapidità dei movimenti vibratori dell'aria o dell'etere quelle che determinavano l'eccitazione dell'una piuttosto che dell'altra terminazione uditiva o visiva. L'omogeneità della natura esterna e la necessità insieme di ammettere delle differenze tra gli stimoli corrispondenti alle differenze tra le sensazioni venivano così conciliate nella tesi del meccanicismo che riduceva le differenze qualitative a differenze quantitative di processi fisici omogenei. Si poteva ancora ammettere, e si ammetteva, che tra la qualità sensoriale e lo stimolo non ci fosse alcuna comunanza di natura, poichè non c'è comparazione possibile tra un suono o una luce e un movimento; le qualità sono « segni », non copie degli stimoli. Ma d'altra parte, siccome a ciascuna qualità sensoriale corrisponde uno stimolo determinato, dal variare delle sensazioni dev'essere possibile indurre le variazioni degli stimoli. Queste idee sono limpidamente riassunte nelle parole dell'Helmholtz: « Se le nostre sensazioni sono, nelle loro qualità, soltanto dei *segni*, la cui forma speciale dipende del tutto dalla nostra organizzazione, non per questo debbono essere rigettate come vuota illusione, ma sono anzi dei segni di *qualche cosa*, sia di un essere, sia di un divenire: e, ciò che più importa, esse possono raffigurarci la legge di questo divenire »(1).

Critica del principio delle energie nervose specifiche.

Prima di passare in rassegna le obiezioni che furono rivolte e quelle che possiamo ancora rivolgere contro il principio delle energie nervose specifiche, dobbiamo chiarire un equivoco fondamentale che si cela nel modo in cui quel principio viene di solito enunciato. Quando il Müller diceva che l'eccitazione di un nervo sensoriale provoca in questo una reazione specifica che costituisce la qualità sensoriale propria di quel nervo, si par-

(1) Helmholtz, *Die Thatsachen in der Wahrnehmung*, p. 13.

tiva dai presupposti di una psicologia materialista scarsa di critica: la sensazione veniva identificata col processo nervoso che ne è la condizione, un fatto psicologico era ridotto ad un fatto fisiologico. Il LOTZE ebbe il merito, riprendendo i concetti già espressi da altri filosofi e fondandosi su principî già altre volte enunciati, di porre in evidenza questo errore della psicologia mülleriana: i processi organici in cui consistono le reazioni specifiche della sostanza nervosa agli stimoli che l'eccitano non vanno confusi cogli atti psichici che ne sono suscitati; non solo; ma, sebbene i processi nervosi « costituiscano un insieme di condizioni alle quali sono necessariamente legate l'esistenza e la forma dei nostri stati interni », d'altra parte « tutto ciò che può produrre in questi elementi materiali della natura, come tali, o in un corpo particolare considerato come insieme di un gran numero di essi, tutte queste determinazioni di estensione, di miscuglio, di densità e di movimento non offrono nulla che assomigli al carattere proprio di quegli stati interni che vi si collegano » (1). La qualità sensoriale, in altri termini, non ha nulla a che fare col processo nervoso che ne provoca l'insorgenza; e il carattere d'unità e indivisibilità proprio della coscienza richiede che si postuli l'esistenza di un soggetto *oltre* il sistema nervoso: « Das Ganze des Nerven nun, ein Aggregat ungezählter Theile, könnte an sich schon dieses Subject der Empfindung nicht bilden » (2). Ciò posto, a che si riduce il principio delle energie specifiche? Ricondotto nel campo fisiologico, esso significa che i processi nervosi provocati dagli stimoli esterni e connessi poi con determinati fatti psichici, debbono essere diversi e specifici per ciascun nervo sensoriale; e, per conseguenza, che i substrati anatomici dei processi nervosi specifici, cioè i nervi e i centri nervosi, debbono essere adattati alle loro differenti funzioni. Il valore del principio è dunque puramente fisiologico; ciò non toglie che, per la stretta connessione tra fatti fisiologici e fatti psichici, e dato che delle differenti maniere di svolgersi dei processi nervosi non possiamo giudicare se non fondandoci sulle differenze tra le qualità sensoriali, nella critica del principio delle energie specifiche nervose bisognerà tener conto non solo dei dati fisiologici, ma anche dei fatti psicologici che il principio dovrebbe o vorrebbe spiegare.

(1) LOTZE, *Medizinische Psychologie* (dalla trad. franc.: *Principes généraux de psychologie physiologique*, 1876, p. 3).
(2) LOTZE, *System der Philosophie*, vol. II, *Metaphysik* (1884), p. 504.

Abbiamo cercato di distinguere le due forme assunte dal nostro principio nella storia della fisiologia; incominciamo dalla seconda, come quella che dà al principio delle energie specifiche la maggiore estensione.

1.° La teoria dell' HELMHOLTZ incontra anzitutto delle difficoltà nel campo anatomico. Per la vista e per l'udito la sua ipotesi non è verificabile sperimentalmente, perchè non è possibile eccitare isolatamente, p. es. mediante la corrente elettrica, una sola cellula dell'organo del Corti o una sola fibra visiva; dal punto di vista teorico è stato obiettato che, siccome in ogni punto della retina (fatta eccezione per alcune zone periferiche) si può avere la percezione di tutti e tre i colori fondamentali ammessi dall' HELMHOLTZ, bisognerebbe supporre nella più piccola porzione di superficie della retina la presenza di terminazioni di tutte e tre le fibre nervose differenziate, ciò che non sembra ammissibile tenuto conto delle ordinarie dimensioni delle fibre nervose e del diametro dei bastoncelli, ciascuno dei quali contiene una sola fibra (1). La medesima difficoltà s'incontra pure negli altri sensi, p. es. nel tatto e nell'olfatto: in una minima porzione di superficie della pelle o della mucosa olfattiva bisognerebbe ammettere l'esistenza di molte terminazioni nervose specificamente diverse. La teoria dell' HELMHOLTZ, insomma, postula una discontinuità nei campi sensoriali, la quale non ci è affatto dimostrata dall'esperienza. E qui noi vogliamo aggiungere alcune considerazioni metodologiche. Su quale criterio ci si fonda per dimostrare le differenze di energie tra le fibre? Unicamente sul criterio psicologico delle diverse qualità sensoriali. Ma allora perchè si ammettono, nella retina, tre sole fibre nervose per il rosso, il verde e il violetto, e non tante fibre quanti sono i colori diversi ed irriducibili? Giacchè, se ci poniamo dal punto di vista psicologico, i colori irriducibili sono molti più di tre: il verde è tanto irriducibile ad altro colore quanto il giallo, il rosso quanto l'azzurro, non ostante che la sovrapposizione di giallo e di azzurro in date proporzioni generino la sensazione di verde. Tanto è vero che alcuni ricercatori (come l' EBBINGHAUS) riconobbero sei colori fondamentali, ed altri ancora se ne potrebbe aggiungere. Ma basterebbe questo per ammettere altrettante fibre fornite

(1) V. WUNDT, *Grundzüge d. phys. Psychologie*, vol. I, p. 500; WEINMANN, op. cit., p. 62.

di energie specifiche? No certo, se non si vuol cadere in quella fisiologia deduttiva di cui abbiamo parlato; soltanto ricerche sperimentali possono aprirci la via alla soluzione del problema. Ma per la vista e per l'udito, e anche per l'olfatto, la verificazione sperimentale dell'ipotesi dell'HELMHOLTZ è impossibile. Per il tatto, le esperienze hanno effettivamente dimostrato che vi sono distinte terminazioni sensoriali per la pressione e per le temperature; ma questo non è una conferma dell'ipotesi che discutiamo, perchè sensazioni di pressione e sensazioni termiche non sono qualità diverse di una stessa modalità, ma modalità diverse di sensazioni, e solo una psicologia poco progredita potè confonderle nell'unica forma della sensibilità tattile; perciò questo risultato conferma l'esistenza di energie specifiche per le diverse modalità, come ammetteva il MÜLLER, non per le singole qualità, come vorrebbe l'HELMHOLTZ. Quanto al gusto, è vero che si distinguono nella lingua le zone sensibili alle quattro qualità gustative fondamentali, ma ancora mancano cognizioni precise sulle correlazioni tra le varie forme di papille gustative e le qualità sensoriali.

Le difficoltà anatomiche si moltiplicano quando si pensi che, data l'indifferenza funzionale dei condotti nervosi e dato che la sede delle energie specifiche sarebbe nei centri, bisognerebbe ammettere nel centro uditivo l'esistenza di quattromila cinquecento centri differenziati per ciascuna sensazione uditiva, nel centro visivo innumerevoli centri distinti in tre gruppi per ciascun colore ma mescolati poi come sono mescolate le terminazioni delle fibre nella retina, e così via. Date le dimensioni delle zone cerebrali corrispondenti a ciascun senso, ognuno di questi centri dovrebbe ridursi ad una sola cellula; ipotesi poco verisimile e priva di fondamento sperimentale.

2.° È stata fatta da alcuni un'altra obiezione alla teoria dell'HELMHOLTZ. Le qualità sensoriali, si è detto, formano un continuo, per modo che da una ad un'altra qualità di una stessa modalità si può passare per modificazioni insensibili; tra due suoni si può sempre intercalare un numero infinito di suoni intermedî. Ora, per spiegare la continuità della scala dei suoni coll'ipotesi helmholtziana bisognerebbe ammettere l'esistenza di una fibra nervosa per ciascuna sfumatura di suono, e nell'insieme un numero infinito di fibre; si ha qui, disse il VOLKMANN, il modo di ridurre all'assurdo questa teoria delle energie

specifiche. L'obiezione è giusta solo in parte; perchè si potrebbe rispondere che la continuità della scala dei suoni deriva dal nostro limitato potere discriminativo, per cui due suoni di piccolissima differenza ci sembrano uguali, cadendo l'intervallo sotto la soglia della coscienza. Ma non è accettabile neppure la spiegazione data dall'Helmholtz, secondo cui, quando la frequenza delle vibrazioni dell'aria è intermedia tra quelle capaci di eccitare per risonanza due terminazioni nervose successive, vengono eccitate ambedue insieme e dalla loro azione contemporanea nasce la sensazione del suono intermedio. Questa spiegazione urta intanto contro l'analogia stabilita tra le cellule dell'organo del Corti e i risuonatori, perchè se l'analogia fosse esatta le cellule stesse non dovrebbero entrare in vibrazione quando si producono onde aeree la cui frequenza non corrisponda esattamente a quella che è sola capace di farle vibrare per risonanza; non dovrebbe esser possibile sentire suoni intermedî tra quelli che ci possono esser dati dall'azione delle cellule uditive. In secondo luogo, la spiegazione urta contro il potere risolutivo dell'orecchio: anche ammesso che due cellule vicine possano entrare in vibrazione quando le oscillazioni dell'aria sono di frequenza intermedia, ciascuna cellula dovrebbe originare il suono che le è proprio, conforme alla sua energia specifica, e dal miscuglio di due suoni, siano pur vicinissimi, non può nascere un terzo suono intermedio. La difficoltà, come si vede, riguarda soltanto l'udito, perchè nella vista è possibile la combinazione di più colori in uno nuovo. - È noto che la teoria dei « suoni di combinazione » ha molto occupato l'Helmholtz, il quale ha avuto il merito di dimostrare l'esistenza di suoni di combinazione che hanno un corrispondente oggettivo nelle vibrazioni dell'aria di determinate forme e lunghezze; egli distingueva i suoni di combinazione soggettivi da quelli oggettivi, non perchè questi fossero suoni esistenti come tali fuori dell'orecchio, ma perchè mentre dei primi si poteva trovare la ragione nelle proprietà del nervo acustico, dei secondi si poteva porre l'origine nella forma dell'eccitazione. Ora è, crediamo, evidente che, date le proprietà del nervo acustico, non si dovrebbe poter parlare di suoni « soggettivi » nel senso indicato, perchè non si può avere nel nervo acustico una combinazione di suoni; bisognerebbe trovare una forma di eccitazione corrispondente ad ogni singolo suono.

3.° Per ultimo dobbiamo aggiungere alle obiezioni già

fatte altre che nascono da considerazioni psicologiche. Tra i casi più notevoli di relatività delle sensazioni vi è la dipendenza di ciascuna sensazione dalla sua precedente e da quelle che l'accompagnano. Ma se ogni sensazione fosse prodotta dall'azione di una fibra nervosa, la quale non può funzionare in maniera diversa da quella a cui è portata dalla sua energia specifica, non dovrebbe la qualità di una sensazione variare in rapporto colle altre sensazioni; anzi, si verrebbe a stabilire un valore assoluto per ogni qualità sensoriale, avente radice nel substrato anatomico. Qui dobbiamo richiamar l'attenzione su due casi: *a)* Le sensazioni di caldo e di freddo sono sempre relative alla sensazione precedente (o, ciò che in fondo è lo stesso, allo stato antecedente dell'organo); e per questa relazione due sensazioni possono, a volta a volta, differire o solo d'intensità, o anche di qualità. E quando si è detto che le sensazioni di caldo e di freddo dipendono da un disequilibrio di temperatura tra lo stato dell'organo e l'oggetto stimolante, si è enunciata una condizione di relatività affatto indipendente dalla specificità delle terminazioni nervose. *b)* Un importante caso di relatività è quello del contrasto, il quale meglio che altrove può essere osservato nella vista. Anzitutto vi è il contrasto successivo, il fenomeno delle imagini consecutive: dopo aver fissata lungamente p. es. una luce rossa, sorge la sensazione di verde; eppure lo stimolo è immutato, e poichè questo non può agire altro che sulla fibra specificata per le sensazioni di rosso, non dovrebbe poter entrare in funzione la fibra specificata per il verde. La difficoltà è anche maggiore quando si passa dai colori fondamentali ai colori derivati; perchè non si potrebbe introdurre, in questa teoria, l'ipotesi che l'affaticamento di una fibra abbia per effetto l'eccitamento della fibra che dà il colore complementare, giacchè vi sono certi colori (p. es. un rosa, derivato dal miscuglio di rosso e di azzurro) che hanno per complementare un colore alla cui formazione partecipa uno dei colori che formavano il primo (nel caso citato, è il verde chiaro, derivante dal miscuglio di rosso e di verde). È evidente che, se la fibra specificata per il rosso fosse divenuta incapace di funzionare, non potrebbe continuare ad agire per mescolarsi col verde a dare il colore complementare richiesto. - Nel contrasto simultaneo si hanno altrettante difficoltà. L'Helmholtz credeva di averle tutte superate ammettendo che i fenomeni di contrasto successivo e simultaneo

nascessero da errori di giudizio; ma le esperienze dell'Hering hanno dimostrato che sono fenomeni fisiologici e non psicologici: un giudizio non può mutare un colore in uno diverso.

c) Altre difficoltà offre il fenomeno della combinazione dei colori. Secondo l'Helmholtz ai tre colori fondamentali, rosso, verde e violetto, corrisponderebbero tre fibre nervose diverse, e quando le fibre sono eccitate insieme, a seconda della parte maggiore o minore che ciascuna prende al processo nervoso, sorgerebbero i diversi colori composti. Ma si osservi: io posso vedere due fasci di luce contigui, uno rosso ed uno violetto; essi eccitano contemporaneamente due vicine fibre nervose nella mia retina, quindi dovrei percepire un fascio di luce del colore composto, il porpora; invece percepisco i due fasci distinti sol perchè non si sovrappongono. In quali condizioni dovrei percepire i due colori come fusi sì da formare il colore composto? Se bastasse l'eccitazione di due fibre vicine distinte per provocare la sensazione del colore composto, dovrei averla anche se i fasci luminosi sono contigui; e se invece l'eccitazione di due fibre distinte desse sempre luogo a due sensazioni di qualità diversa, anche se i raggi si sovrapponessero fuori dell'organismo non produrrebbero il colore composto, perchè sulla retina dovrebbero di nuovo scindersi per eccitare ciascuno la fibra corrispondente.

Da tutto ciò risulta da un lato l'impossibilità di ammettere tanti organi sensoriali, fibre e centri specificati per quante sono le qualità sensoriali, dall'altro l'impossibilità di ammettere una così rigida corrispondenza tra lo stimolo e la fibra, quasi che ciascuna fibra non potesse essere eccitata che da un solo stimolo. Ora queste due difficoltà sono eliminate nel principio delle energie specifiche nella forma in cui fu enunciato dal Müller, il quale appunto da un lato ammetteva dei nervi forniti di energie specifiche soltanto per ogni modalità di sensazioni, dall'altro riteneva che più stimoli potessero eccitare la stessa fibra nervosa. Perciò il principio del Müller è certo più ragionevole di quello dell'Helmholtz; ciò non ostante vi furono fatte molte obiezioni, alcune giustificate, altre poco fondate, cui dobbiamo ora discutere.

1.° Anche qui furono fatte considerazioni anatomiche. Le differenze funzionali, si disse, debbono avere un fondamento in differenze di struttura dei nervi che delle energie specifiche sono il substrato anatomico; eppure le ricerche anatomiche ed istologiche non hanno messo in luce notevoli differenze strut-

turali nè nelle vie nervose nè nei centri e neppure tra fibre centrifughe e fibre centripete: tanto è vero che l'unico mezzo per accertarsi se una fibra è centrifuga o centripeta è di stimolarla e di tagliarla per vedere se si provoca od impedisce un movimento o una sensazione. Inoltre, sebbene le ricerche istologiche sul sistema nervoso vaghino ancora tra teorie opposte, sempre più si sono osservate le strette connessioni tra le varie parti del sistema nervoso e, in ciascuna parte, tra gli elementi omogenei (le cellule coi loro prolungamenti protoplasmatici) che la costituiscono. A questo argomento non è il caso di dare eccessiva importanza; i sostenitori del principio delle energie specifiche hanno infatti risposto che se l'esame microscopico non ci mostra differenze di struttura tra le parti del sistema nervoso, ciò non vuol dire che non ci siano differenze p. es. nella struttura molecolare che a noi non si rivelano. E anche a prescindere da questa risposta inverificabile, fornisce sempre un argomento inoppugnabile l'osservazione che, dal momento che le differenze nelle reazioni sensoriali non dipendono interamente dagli stimoli, forza è concludere che dipendano da differenti energie nervose, se pure allo stato attuale delle nostre conoscenze anatomiche ed istologiche non ci si manifestano diversità strutturali (1). Ma noi diciamo anche di più: per stabilire la differenza o l'identità tra due nervi o due centri, non ci può essere altro criterio che di fondarsi sulle loro proprietà, e se due nervi presentano proprietà diverse in ordine alle reazioni a cui danno luogo, ciò deve bastare ad affermare la differenza di natura tra i due nervi, anche se non appariscono differenti ai nostri sensi, siano pure armati di microscopio. Anche il LOTZE, pur combattendo il principio delle energie specifiche, diceva: « Indessen hätten doch vielleicht diese Strumentunterschiede nicht nöthig, sich in sinnlich sehr kennbaren Zeichen auszuprägen » (2). Non è

(1) D'onde viene, si domanda il MONTGOMERY, il potere dei nervi di aggiungere all'eccitazione che ricevono dall'esterno la reazione che dà luogo alle sensazioni? « If not derived from extra-organic sources, this completely nowel and elemental power, now joined to the motion, must needs be considered an inherent property of nerve-substance. And then it is quite certain that nerve-substance must be a substratum endowed with the specific energy of adding to each special motion a corresponding specific sensation, to each special group or confluence of such propagated motions a specific compounds sensation ». (MONTGOMERY, art cit. in *Mind*, vol. V, 1880, p. 8).

(2) LOTZE, *Seele und Seelenleben* (in *Kleine Schriften*, vol. II, p. 34).

buon metodo il volere escludere le differenze funzionali ogni volta che non sono accompagnate da differenze istologiche.

Così non daremo molto valore all'altra obiezione che, prescindendo dalle reazioni che determinano le qualità sensoriali, tutte le altre proprietà sono uguali in tutti i nervi: le proprietà elettriche, le proprietà generali della conduzione, come la velocità di propagazione delle eccitazioni, l'infaticabilità, il comportamento in ordine al ricambio materiale, alla degenerazione walleriana ecc. Qui abbiamo le proprietà generali della sostanza nervosa; non avremmo un' obiezione al principio delle energie specifiche, se non fosse che sono queste le sole proprietà dei nervi che ci è possibile constatare indipendentemente dalla loro connessione cogli organi sensoriali periferici (i quali, si noti, sono costituiti in parte di elementi non nervosi) (1); perciò è facile il sospetto che le differenti reazioni non siano dovute ad energie specifiche inerenti alla sostanza nervosa, ma dipendano dal fatto che ciascun organo sensoriale è recettore di un determinato stimolo esterno e non di altri. Ma l'obiezione sarebbe grave se i dati sperimentali mostrassero realmente l'indifferenza funzionale della sostanza nervosa separata dagli organi periferici. Le celebri esperienze di Philippeau e Vulpian sulla sostituzione funzionale (sezionato un nervo sensoriale e un nervo motore della lingua e poi saldato il moncone centrale della fibra sensoria col moncone periferico della fibra motrice, si aveva il ristabilimento funzionale: il nervo così formato, essendo collegato alla periferia con un muscolo, fungeva da nervo motore) non sono decisive, perchè valgono soltanto a negare che la sede delle energie specifiche sia nelle vie conduttrici. Infatti, quando si forma così artificialmente un nervo misto, colla metà centrale connessa con un centro sensorio e colla metà periferica connessa con un muscolo, in seguito ad una stimolazione prodotta durante il tragitto del condotto nervoso si ha insieme una sensazione dolorosa e una contrazione muscolare. Se si connette questo fenomeno con quello della doppia conduzione che abbiamo già ricordato, si deve concludere che l'eccitazione del nervo misto trasmessa al centro ha provocato la sensazione di dolore, trasmessa alla periferia ha provocato una contrazione muscolare, e ciò perchè il nervo funzionalmente indifferente era collegato con un centro

(1) Schwarz, *Das Wahrnehmungsproblem*, cit., p. 249.

sensoriale specificato e con un organo periferico capace soltanto di movimento. Perchè questa famosa esperienza fosse decisiva, bisognerebbe che la stimolazione del centro cerebrale non provocasse nessuna sensazione dacchè il centro è connesso per mezzo del nervo misto con un apparecchio di moto: ma questo non si verifica. Dunque bisogna concludere che questa esperienza esclude le energie specifiche soltanto dalle vie conduttrici, ciò che era disposto ad ammettere lo stesso Müller.

2.° Le obiezioni più gravi contro il principio delle energie specifiche nacquero dall'analisi del concetto di « stimolo » come era stato usato dal Müller e dall'esame dei fatti concreti sui quali si appoggiava il principio. Il Lotze e il Weber furono i primi e più validi oppositori (1). Il principio mülleriano si basava in fondo sulle due leggi per cui 1° i più differenti stimoli, agendo sullo stesso nervo sensoriale, provocano la stessa reazione sensoriale, 2° uno stesso stimolo agendo su nervi differenti provoca reazioni sensoriali differenti. Ambedue queste leggi non possono essere ammesse in tutto il loro rigore. In primo luogo, vi sono degli stimoli assolutamente incapaci di destare certe sensazioni: la luce p. es. è affatto inefficace per l'udito, il gusto e l'olfatto; il movimento vibratorio dell'aria è inefficace sulla vista, sull'olfatto, sul gusto; gli stimoli termici non agiscono sulla vista, sull'udito, sul gusto, sull'olfatto; agli stimoli olfattivi sono insensibili tutti i sensi fuori che quello adattato a riceverli. Rimarrebbero gli stimoli meccanici ed elettrici; ma i primi sembra non siano capaci di eccitare sensazioni gustative ed olfattive, e per l'olfatto sembra che siano inefficaci anche i secondi. Rimane così stabilito che vi sono degli stimoli assolutamente inadeguati per certi sensi. D'altra parte non si può negare che ogni organo sensoriale abbia uno stimolo adeguato, quello cioè che ordinariamente agisce su di lui e che determina qualità sensoriali così svariate e così permanenti quali gli stimoli inadeguati non son capaci di destare. Non pare dunque che si possa abolire la distinzione tra stimoli adeguati e stimoli inadeguati.

Ma il Lotze spinge tant'oltre le sue critiche da giungere anch'egli ad abolire, per un altro verso, questa distinzione che l'esperienza ci obbliga a riconoscere. Per distinguere gli stimoli adeguati dagli stimoli inadeguati, egli dice, non c'è

(1) V. le opere cit. del Weinmann, del Post e del Wundt.

altro mezzo che di fondarsi sulla diretta osservazione delle loro azioni sugli organi sensoriali: dunque ogni volta che uno stimolo qualsiasi non resta inefficace agendo sopra un organo sensoriale, dobbiamo dichiararlo stimolo adeguato; così se l'elettricità, agendo sulle papille della lingua, provoca sensazioni gustative, dobbiamo concludere senz'altro che l'elettricità è uno stimolo adeguato del gusto. Ma, si potrebbe rispondere, se si ammette che gli stimoli più differenti siano ugualmente adeguati ad uno stesso organo sensoriale, e provochino naturalmente le stesse reazioni sensoriali, il principio delle energie specifiche non viene attaccato, anzi viene confermato! A questa obiezione il Lotze fa fronte ammettendo che quelli che ordinariamente si chiamano *stimoli* non siano forme di azione semplice, ma gruppi più o meno complessi di stimolazioni; sicchè ciascuno stimolo, se anche nel suo insieme appare inadeguato, contiene come sua parte uno stimolo adeguato (che il Lotze chiama « Nebenerzeugnis » e noi potremo tradurre « stimolo *ad latus* »). P. es., uno stimolo complesso (Gesamtreiz), che indicheremo con (*a b c d*), può risultare di stimoli (*a b c*) incapaci di agire sopra un dato organo, e di uno (*d*) adeguato a quell'organo; quindi, mentre nel suo insieme sembra inadeguato, è adeguato per una sua parte. Lo scopo di quest'analisi è di eliminare il concetto di stimoli inadeguati capaci di agire sopra il nervo a cui sono inadeguati. Se una pressione sull'occhio provoca una sensazione luminosa, ciò accade perchè nella pressione è inclusa la capacità di determinare sulla retina delle ondulazioni simili a quelle provocate dalla luce; sicchè i due stimoli meccanico e luminoso agiscono nello stesso modo perchè hanno in comune una forma di azione.

Queste critiche e queste costruzioni sembrano dovute più al desiderio di sostenere una teoria che a quello d'interpretare i dati dell'esperienza. L'esperienza non prova affatto che l'elettricità sia qualche cosa di complesso nel senso voluto dal Lotze, nè alcun procedimento riesce a rivelare l'esistenza degli stimoli *ad latus*. E d'altra parte con nessun artificio logico si potrà dimostrare che l'elettricità e la pressione siano, per la vista, degli stimoli adeguati *allo stesso grado* della luce; la corrente galvanica potrà provocare bagliori, le eccitazioni meccaniche susciteranno dei fosfemi, ma nè coll'una nè colle altre si riuscirà a creare, non dico tutto il mondo delle nostre percezioni visive, ma neppure la sola e semplice figura di un

qualsiasi oggetto della nostra esperienza. Nè, dunque, nel senso del Müller, nè nel senso del Lotze ci sembra possibile aderire alla negazione della differenza tra stimoli adeguati e stimoli inadeguati. Quale soluzione del problema si affaccia come la più chiara e la più probabile?

Per tenerci fedeli all'esperienza, e per trarre profitto anche dai dati raccolti nelle altre parti del nostro lavoro, riteniamo che gli stimoli debbano essere divisi in tre categorie: I. Nella discussione delle teorie fisiche abbiamo detto che tra le forme di energia la cui irriducibilità non poteva esser negata, ve ne sono due che hanno la particolarità di non rivelarsi ai nostri sensi mediante qualità sensoriali speciali: l'energia elettrica e l'energia chimica. Poichè il nostro organismo manca di organi e di nervi la cui eccitazione provochi l'insorgenza di qualità sensoriali corrispondenti a quelle forme di energia, noi possiamo chiamar queste « stimoli inadeguati »: quando poi esse agiscono sopra gli organi e i nervi di cui il nostro corpo è fornito, provocano le reazioni sensoriali che vengono suscitate normalmente quando quegli organi e quei nervi vengono eccitati. Così l'elettricità può provocare bagliori alla vista, sapori al gusto etc. - II. Vi sono poi gli stimoli specifici, « adeguati » ad organi e nervi speciali: comprendono le forme più degradate di energia, le quali a noi si rivelano mediante qualità sensoriali specifiche: luce, calore, odori, sapori. Questi stimoli sono capaci di agire esclusivamente sopra gli organi e i nervi a cui sono adattati: la luce non può agire sulla lingua o sull'orecchio, nè l'odore può agire sulla retina o sulla pelle; ma quando agiscono sui rispettivi organi sensoriali, evocano quella varietà immensa di qualità che costituisce il mondo delle nostre rappresentazioni. - III. Dalle due categorie rimane esclusa una forma di energia: l'energia meccanica. È questa uno stimolo che partecipa dei caratteri dei primi e dei secondi: è uno stimolo specifico e adeguato, perchè vi sono due organi i quali, ricevendo le sue eccitazioni, provocano l'insorgenza di qualità sensoriali specifiche: la pelle, che è eccitata dal contatto (pressione), e l'udito, che viene messo in funzione da quella forma speciale di energia meccanica che ci si manifesta, al tatto e alla vista, come movimento vibratorio. Ma d'altra parte gli stimoli meccanici partecipano delle proprietà delle forme superiori di energia, giacchè, come gli stimoli elettrici e chimici, possono agire anche sopra le termi-

nazioni nervose a cui non sono adattati, provocando in tal caso le sensazioni ch'esse sono solite di suscitare.

La conclusione a cui giungiamo è che la pretesa mancanza di qualsiasi corrispondenza tra gli stimoli e le qualità sensoriali è smentita dai dati dell'esperienza; non perchè le qualità siano copia degli stimoli, ma perchè vi è una connessione tra il mondo delle qualità sensoriali e il mondo degli agenti esterni. E questo serve anche a metterci in guardia dalle affrettate illazioni gnoseologiche e metafisiche del principio delle energie nervose specifiche. Da un lato, infatti, l'indubitabile correlazione esistente tra le forme di energia e le qualità sensoriali, l'armonica corrispondenza tra stimoli e rappresentazioni vieta di trarre dal principio delle energie nervose specifiche le conseguenze nel senso fenomenismo radicale; dall'altro la giusta comprensione del principio stesso non conduce a negare, ma anzi a riconoscere le diversità tra gli stimoli, e quindi conferma il risultato raggiunto, per tutt'altra via, dalla critica delle teorie fisiche e chimiche circa le irriducibili differenze qualitative tra gli agenti esterni.

Rimane da discutere un altro punto importante. Tra gli enunciati che riassumono la dottrina mülleriana vi è quello con cui si afferma la possibilità che le azioni che provocano l'insorgere delle qualità sensoriali abbiano la loro origine nell'interno dell'organismo. È l'argomento preferito degli Scettici greci e di tutti coloro che hanno, sulle loro tracce, spinta la teoria della conoscenza verso il relativismo e il fenomenismo. Per effetto di cause esterne, dice il Müller, non possiamo ricevere nessuna sensazione che non possa sorgere anche senza dette cause, per effetto di eccitazioni endoorganiche. A questa tesi dobbiamo opporre parecchie osservazioni:

1.° Questo concetto condurrebbe a togliere ogni importanza all'organo sensoriale periferico tra le condizioni dell'insorgenza delle qualità sensoriali. Ma l'importanza dell'organo periferico, oltre che dalle considerazioni che abbiamo già ricordate circa le funzioni generali della sostanza nervosa, è messa in luce dal fatto che gli stessi stimoli capaci di eccitare gli organi sensoriali non sono adatti ad eccitare anche i nervi; anzi, in linea generale lo stimolo specifico adeguato ad un organo sensoriale è incapace di eccitare il nervo con cui quell'organo è connesso; la luce, stimolo specifico dell'occhio, non agisce affatto sul nervo ottico nè sul centro cerebrale delle sensazioni vi-

sive; il suono, stimolo specifico dell'orecchio, è incapace di eccitare il nervo acustico e la zona cerebrale uditiva, e così via. D'altra parte, tutti gli stimoli che possono agire sui nervi e sui centri (stimoli meccanici, elettrici, chimici) non possono certo, come dicemmo, provocare tutta quella ricchezza di qualità sensoriali, raggruppate in modo da darci la rappresentazione degli oggetti, cui possiamo avere per l'azione degli stimoli (luce, suono ecc.) che agiscono soltanto sugli organi. Dunque non si può affermare che le sole eccitazioni endoorganiche dei nervi e dei centri ci avrebbero creato lo stesso mondo di rappresentazioni che possediamo per l'azione di quegli agenti esterni che eccitano i nervi per mezzo degli organi periferici.

2.° La teoria dell' Hermann sulla conduzione delle eccitazioni lungo il nervo sembrerebbe a prima vista una conferma del concetto mülleriano che uno *stato* dei nervi può dar luogo ad una sensazione senza che ci sia un eccitante esterno. L' Hermann ammise che la conduzione delle eccitazioni attraverso la fibra nervosa consistesse in un processo fisico chimico per cui ogni segmento della fibra verrebbe eccitato dal segmento immediatamente antecedente, per modo che ciascun segmento servirebbe da stimolo per il segmento vicino: la propagazione avverrebbe come l'accensione di una miccia. Quest'ipotesi intorno ad un fenomeno non ancora chiarito tende ad identificare conduzione ed eccitazione, considerando la conduzione come una forma di eccitazione dovuta alle parti della fibra nervosa; e più che una teoria è una rappresentazione alquanto grossolana di un fatto che non ne risulta per nulla spiegato. Ma in primo luogo il processo di eccitazione non può prendere origine nell'interno di una fibra se non ha avuto almeno il suo punto di partenza fuori della fibra stessa, sia pure nell'interno dell'organismo. In secondo luogo, va notato che è pur possibile la dissociazione delle due proprietà: in certi casi una stessa fibra è eccitabile ma non conduce le eccitazioni, oppure è capace di condurre le eccitazioni ma non di essere eccitata. Questo fenomeno dimostra che i segmenti di una fibra non possono essere considerati come *stimoli* perfettamente analoghi agli stimoli esterni; in certi casi, in cui gli stimoli esterni sono adeguati alla fibra poichè l'eccitano, le particelle della fibra sono stimoli interni non adeguati, perchè non conducono l'eccitazione; in altri casi accade il contrario. Questo prova ancora l'impossi-

bilità di ritenere che per opera degli stati dei nervi, prescindendo dalle eccitazioni esterne, possa nascere il mondo delle nostre rappresentazioni. Nè si adducano i casi di allucinazione in cui lo stimolo è interno all'organismo, perchè in tali casi la sensazione provocata è assai semplice e viene arricchita e variata dalla fantasia del soggetto.

3.° Vi è poi il fatto psicologico della proiezione delle sensazioni o fuori dell'organismo (colori, suoni, odori) o alla sua periferia (contatti, temperature, sapori). È vero che anche una stimolazione dei centri nervosi o dei nervi sensoriali provoca una sensazione che viene proiettata o alla superficie dell'organismo o anche addirittura all'esterno, ma ciò non prova se non che la nostra abitudine di compiere una tale proiezione si fa sentire anche quando la proiezione non dovrebbe essere fatta. Ma quest'abitudine dev'essere acquistata e per qualche motivo: noi non saremmo abituati a proiettare le qualità sensoriali all'esterno o alla periferia dell'organismo anche quando le stimolazioni sono endoorganiche, se le stimolazioni ordinarie non fossero esterne. Una prova di ciò è data dalle modificazioni che subisce la localizzazione delle sensazioni col cambiare delle abitudini: è noto che gli amputati sulle prime riferiscono all'organo soppresso le eccitazioni fatte sul moncherino, ma col tempo l'illusione si perde e le eccitazioni vengono riferite al punto in cui sono fatte. Concludiamo che l'abitudine di proiettare le qualità sensoriali fuori dell'organismo non si sarebbe acquistata se non ci fossero mai state eccitazioni provenienti dall'esterno, anzi, se le eccitazioni provenienti dall'esterno non fossero quelle normali.

4.° Vi è un fatto di molto valore che togliamo dall'embriologia; esso non è ancora definitivamente accertato, ma se risultasse esatto costituirebbe un forte argomento a favore dell'importanza degli organi periferici. Il processo di formazione embrionale delle vie nervose sensoriali non seguirebbe la direzione dal centro alla periferia, ma dalla periferia al centro: i nervi si generebbero alla periferia e terminerebbero ai centri. Data inoltre la complessità di struttura degli organi periferici in confronto colla relativa semplicità dei nervi e dei centri, è naturale supporre che gli organi periferici abbiano una funzione importante, una funzione selettiva tra gli stimoli del mondo esterno. Bisogna così concludere che il concetto mülleriano per cui stimoli interni ai nervi o all'organismo sono

capaci di destare tutte le qualità sensoriali non è sostenibile se non con restrizioni che finiscono poi col mutarne il significato.

Ed ora passiamo ai fenomeni che il principio delle energie specifiche non spiega affatto e che servirono di guida alla ricerca di un altro principio esplicativo. Sono questi i fenomeni di *adattamento* del sistema nervoso agli stimoli, sui quali più d'ogni altro richiamò l'attenzione il WUNDT (1). Per avere le sensazioni appartenenti ad un determinato campo sensoriale è necessario che l'organo periferico abbia funzionato per un certo tempo sotto l'azione degli stimoli esterni; tanto è vero che gl'individui i quali, per mancanza o per atrofia degli organi periferici, non esercitano i nervi e i centri nel rispondere all'azione degli stimoli esterni, mancano anche delle qualità sensoriali corrispondenti; i ciechi nati e i sordi nati sono privi, rispettivamente, di sensazioni visive e di sensazioni uditive, non ostante che abbiano i nervi e i centri della vista e dell'udito; e ne mancano pur in un'età in cui non è ancora incominciata quella degenerazione degli elementi nervosi che suol seguire ad una prolungata assenza di funzionamento. Se i nervi o i centri avessero preformata la capacità di dar luogo a speciali processi nervosi, non dovrebbe esser necessario un periodo di esercizio e l'azione continuata degli stimoli esterni per percepire le qualità sensoriali corrispondenti a quei processi nervosi. Vi è poi il fatto della sostituzione di funzioni nei centri, « un caso speciale ed estremo dell'esercizio e dell'adattamento », che può avere due forme: talvolta quegli elementi nervosi che prima compivano una parte di una funzione diventano capaci di compiere l'intera funzione supplendo le parti mancanti, onde si ha la « sostituzione per estensione del campo funzionale »; altre volte certi elementi divengono capaci di compiere una funzione che prima non compivano, onde si ha la « sostituzione per assunzione di nuove funzioni ». Come esempî della prima forma di sostituzione possiamo citare i casi di compensazione che si hanno quando, asportando o in ogni modo ledendo una parte di un centro così da ridurla inattiva, dopo qualche tempo si ristabilisce la funzione com'era prima del disturbo, perchè le parti rimanenti e sane del centro compiono la funzione che era prima

(1) V. WUNDT, *Grundzüge der physiologischen Psychologie*, vol. I, pp. 387-394, 568 sgg.

compiuta dal centro intero. Come esempî della seconda forma di sostituzione citiamo i casi in cui, soppressa una porzione della corteccia cerebrale, la porzione finitima, che compiva prima una funzione diversa, dopo qualche tempo supplisce la parte asportata. Tutti questi fenomeni di sostituzione non si spiegherebbero se le energie specifiche fossero proprietà originarie ed immutabili dei nervi o dei centri, perchè se così fosse l'azione degli stimoli esterni non potrebbe alterarne le funzioni.

Tutte queste difficoltà, aggiungendosi al nuovo indirizzo penetrato nella scienza con la teoria dell'evoluzione, spinsero alcuni scienziati ad abbandonare il principio delle energie nervose specifiche e ad assumere un principio radicalmente opposto, che prende il nome di *principio dell' indifferenza funzionale.*

III. Il principio dell' indifferenza funzionale.

L'anno seguente a quello in cui il Darwin aveva pubblicata la sua *Origine delle specie,* e precisamente nel 1860, G. E. Lewes combatteva il principio delle energie nervose specifiche, non più con gli argomenti in parte teorici, in parte sperimentali del Weber e del Lotze, ma nel nome dei nuovi principî scientifici banditi dall'evoluzionismo. Era facile, infatti, mostrare il profondo contrasto tra la teoria della discendenza e il concetto delle energie nervose specifiche: finchè si riteneva che le specie organiche fossero immutabili non poteva sembrare assurdo il riconoscere immutabili e preformate nel sistema nervoso certe particolarità funzionali corrispondenti ai diversi tipi di qualità sensoriali; ma con la teoria della derivazione delle specie da uno o da pochi ceppi originarî doveva accompagnarsi l'idea che anche gli organi e le funzioni, nella ricchezza delle loro forme, potessero ricondursi a pochi tipi originarî semplici di struttura e di attività, dai quali essi sarebbero derivati per un processo di differenziazione durante l'evolversi della specie. Questo indirizzo di ricerca, a cui guidavano l'anatomia, l'istologia e la fisiologia comparata, doveva spingere, nel campo della psicologia, a ricercare una forma originaria di sensibilità da cui le diverse funzioni sensoriali fossero nel seguito del processo evolutivo derivate. E come il

lamarckismo prima, il darwinismo poi, avevano avanzate alcune ipotesi sui fattori dell'evoluzione (l'adattamento all'ambiente, l'eredità dei caratteri acquisiti, la lotta per l'esistenza), così alla psicologia evoluzionistica spettava il compito d'indicare i fattori che avevano prodotto la differenziazione della sensibilità primitiva nelle sue diverse forme. Vediamo dunque le linee generali di questa spiegazione evoluzionistica dell'origine delle differenze qualitative, seguendo nell'esposizione le idee del più strenuo e compiuto difensore del principio dell'indifferenza funzionale, Guglielmo Wundt.

Perchè delle modificazioni organiche si producano nel senso di un'evoluzione è necessario da un lato postulare un primo principio che dell'evoluzione sia il presupposto e delle modificazioni ulteriori il punto di partenza, dall'altro ammettere che alle azioni degli stimoli esterni sull'organismo corrispondano da parte di questo certe reazioni, perchè le sole azioni esterne non sarebbero capaci di differenziare un organismo omogeneo se questo non reagisse adattandosi alle mutate condizioni dell'ambiente. Per questa ragione il Wundt respinge il principio darwiniano di una lotta per l'esistenza da cui pel solo cozzare degli agenti esterni risulterebbe la selezione del più adatto; la lotta per l'esistenza può eliminare gl'individui non forniti di caratteri adattati all'ambiente e conservare soltanto gl'individui adattati, ma presuppone già l'esistenza di caratteri che essa, la lotta per l'esistenza, non può creare. Soltanto le reazioni degli organismi, l'adattamento, possono spiegare l'evoluzione. Per spiegare evoluzionisticamente le varie forme di sensibilità è dunque necessario assumere come proprietà irriducibile del protoplasma una forma di sensibilità primitiva, la sensibilità cutanea, simile a quella che noi chiamiamo tattile; da questa, in seguito alla differenziazione dell'integumento corporeo e alla formazione degli organi di senso, si sarebbero sviluppate tutte le altre forme di sensibilità. Sulle cause che hanno determinata questa evoluzione poco possiamo dire; possiamo soltanto indicare a grandi linee gli stadî delle successive differenziazioni dell'organo semplice e primitivo della sensibilità cutanea fino alla costituzione dei nostri complicati organi sensoriali.

Negli animali inferiori il tatto è l'unica forma di sensibilità; l'integumento corporeo è sensibile a tutti gli stimoli (meccanici, chimici, luminosi, elettrici) e la forma della rea-

zione sensoriale agli stimoli diversi è sempre la stessa. Col prolungarsi delle azioni degli stimoli esterni si ha dapprima un aumento della sensibilità dell'integumento corporeo, come effetto dell'esercizio, e nello stesso tempo la formazione di punti forniti di sensibilità più squisita, collegati direttamente colle terminazioni nervose superficiali; il senso cutaneo, che prima era diffuso su tutta la superficie dell'organismo, si localizza più specialmente in determinati punti, gli *organi del tatto*, capaci di distinguere con relativa nettezza i contatti e le pressioni esterne. Un'ulteriore azione degli agenti esterni determina ancora un aumento di sensibilità in alcuni di questi punti, e questo aumento consiste nell'acquistare la capacità di distinguere negli stimoli esterni altre differenze qualitative, il caldo e il freddo: sono gli *organi termici;* la loro specificazione avviene in alto grado soltanto negli animali detti appunto « a sangue caldo », mentre negli animali a sangue freddo le sensazioni termiche e quelle tattili si confondono. Una seconda serie di modificazioni organiche si compie intanto per l'azione degli stimoli meccanici: la necessità della conservazione dell'equilibrio del corpo nel mezzo ambiente ha prodotto la formazione di alcune cavità le cui superficî, originariamente continuazione dell'integumento, col ripetersi delle azioni esterne e coll'adattamento finirono col modificarsi profondamente; la produzione di un liquido nell'interno di queste cavità, il quale trasmette i movimenti che riceve dagli stimoli meccanici alla superficie già differenziata, ne aumenta ancora la sensibilità ponendola in grado di stabilire un'armonia tra l'organismo e l'ambiente; più ancora accresce la sensibilità delle superficî medesime la formazione di concrezioni speciali entro il liquido (gli otoliti) che trasformano i leggieri urti dell'aria in intense pressioni contro la *parete sensoriale*. Così dall' organo del tatto si è svolto l'*organo dell'equilibrio;* i due organi presentano varie affinità: sono stimolati ambedue da azioni meccaniche, l'uno come l'altro ci dà notizia della posizione e dei movimenti del corpo. Infine nell'interno dell'organo dell'equilibrio, già adattato a ricevere le stimolazioni dalle oscillazioni dell'aria, si produce un'altra differenziazione, un aumento di sensibilità in alcuni punti; i movimenti oscillatorî vengono allora percepiti come suoni; si forma l'*organo dell' udito,* che coll'organo dell'equilibrio è così strettamente unito da formare, anatomicamente, un organo solo. Che se le sensazioni uditive sono per

noi molto diverse dalle sensazioni tattili originarie, possiamo credere che in animali inferiori le sensazioni di rumore e le sensazioni di contatto non siano molto differenti. Così una prima serie di organi si è prodotta per opera delle azioni di stimoli meccanici e dell'adattamento dell'organismo agli agenti esterni; e dalle sensazioni tattili si è svolta tutta una serie complicata di qualità sensoriali: « Die Qualitäten der mechanischen Sinne wahrscheinlich sämtlich durch allmähliche Differenzierung aus der Qualität der einfachen Druckempfindungen hervorgegangen sind » (1). A tutti questi sensi è comune il seguente carattere: che gli organi periferici non fanno altro che trasportare gli stimoli esterni sulle terminazioni nervose, sulle quali infatti gli stimoli meccanici agiscono come tali; perciò possono dirsi « organi di trasporto » (Uebergangssinnesorgane).

Una seconda serie di trasformazioni dell'organo della sensibilità generale avviene contemporaneamente in ben diverso indirizzo. Mentre gli stimoli meccanici agivano nel senso indicato, gli stimoli chimici hanno provocato per conto loro delle reazioni di adattamento il cui risultato è stata la formazione di organi periferici dotati di alta sensibilità e localizzati in punti speciali dell'organismo: sono l' *organo dell' olfatto* e l'*organo del gusto*, i quali debbono essere stati originariamente confusi poichè sono ancora mal distinti in alcuni animali; d' altra parte in alcuni animali gli stessi organi che funzionano per il gusto trasmettono anche sensazioni tattili, confermando così l'origine tattile di questi sensi chimici. Ma come e perchè la differenziazione dei due sensi si sia prodotta, non si può dire. Inoltre, altri diversi stimoli chimici, gli stimoli fotochimici, agendo sull'organismo prolungatamente determinarono la formazione di organi sensibilissimi, immensamente differenziati e complicati nella loro struttura, capaci di entrare in funzione per le eccitazioni chimiche delle luci colorate: sono gli *organi della vista,* i più complessi e più fini. Ai tre organi chimici è comune un carattere inverso a quello degli organi di trasporto: qui le eccitazioni esterne non agiscono direttamente sulle terminazioni nervose, ma sono *trasformate* dagli organi di senso; gli stimoli esterni provocano sulle terminazioni nervose delle decomposizioni chimiche, le quali formano l'eccitante dei nervi, e gli organi sono il mezzo

(1) Wundt, *Grundzüge ecc.*, ediz. cit., vol. I, p. 512.

di questa trasformazione. In corrispondenza degli organi, si producono anche le diverse qualità sensoriali.

Tutta questa evoluzione può riassumersi in tre stadî caratterizzati dai rapporti in cui i diversi campi sensoriali si trovano coll'organo sensoriale cutaneo originario. Nel primo stadio l'integumento corporeo funge da organo sensoriale generale: esso è capace di essere eccitato da tutti gli stimoli, sebbene in debole grado, e reagisce sempre nella stessa maniera: perciò è detto dal Wundt « organo pantotropo ». Nel secondo stadio si formano gli organi tattili differenziati, l'organo dell'equilibrio, gli organi capaci di essere eccitati da stimoli chimici; la differenziazione non è ancora completa, perchè ciascun organo in questo stadio compie più funzioni (p. es. l'organo tattile reagisce anche agli stimoli termici, l'organo dell'equilibrio è confuso con quello dell'udito, l'olfatto col gusto); perciò si possono dire « organi politropi ». Infine nel terzo stadio si ha la differenziazione completa: si formano i varî organi sensoriali, ciascuno dei quali è capace di essere eccitato da una sola specie di stimoli a cui è unicamente adattato; e perciò vanno detti: « organi monotropi ». Soltanto il senso della luce sembra che sia stato monotropo fin dal primo staccarsi dall'organo cutaneo e che perciò non abbia attraversato il secondo stadio dell'evoluzione; invece il tatto è rimasto al secondo stadio, è un organo politropo. L'esistenza di queste fasi è di difficile constatazione sperimentale, perchè c'è sempre dell'arbitrario nell'interpretare le reazioni degli animali inferiori alle eccitazioni dei diversi stimoli; i soli dati sembrano questi: in alcuni insetti il Ranke trovò degli organi uditivi molto simili agli organi tattili, e nella sanguisuga trovò che l'organo visivo funziona allo stesso tempo come organo di tatto e di gusto. Ma non c'è nulla di definitivamente accertato. Il Wundt riassume l'evoluzione della sensibilità in questo specchietto:

Organo sensoriale cutaneo

Organo dell'equilibrio		Organo fotochimico	Organo chimico	
Senso dell'equilibrio	Udito	Vista	Olfatto	Gusto

È evidente che questa teoria è radicalmente opposta a quella delle energie nervose specifiche: il Wundt considera

il sistema nervoso come funzionalmente indifferenziato e, per l'origine delle differenze qualitative, riversa tutta l'importanza sugli organi sensoriali periferici, i quali sono costituiti in gran parte di elementi non nervosi; le differenti azioni degli stimoli esterni avrebbero a poco a poco prodotte delle modificazioni nelle diverse parti del sistema nervoso, in modo da renderle adatte a ricevere particolari eccitazioni; e queste modificazioni, sviluppatesi nel corso dell'evoluzione della specie (1) e fissatesi con l'eredità, sarebbero la causa di quelle differenze funzionali che al MÜLLER apparivano energie specifiche. Ma anche questa teoria non può sfuggire a numerose critiche, che noi divideremo, per chiarezza espositiva, in due gruppi: critiche generali e critiche speciali.

A) Incominciamo col discutere subito il punto centrale della teoria del WUNDT: è possibile ammettere la derivazione di tutte le forme di sensibilità dall'unico tipo della sensibilità cutanea o tattile? È facile riconoscere in questo assunto quel preconcetto meccanicistico che noi abbiamo cercato di mettere in luce già altre volte nel corso del presente lavoro: l'indebita preferenza data alle qualità tattili sulle altre qualità sensoriali. Perchè, infatti - potremmo domandare -, il WUNDT cerca di derivare tutte le forme di sensibilità da quella tattile e non piuttosto da quella visiva, ad es., o da quella gustativa? Perchè il meccanicista concepisce gli agenti esterni come rivestiti delle qualità tattili e s'imagina tutti i processi fisici come movimenti; ammette che ogni azione degli stimoli esterni sull'organismo sia, come ogni azione fisica, urto o pressione; e ne trae la conseguenza che la forma di sensibilità che ci mette in contatto diretto colla realtà esterna, la forma di sensibilità originaria e matrice di tutte le altre, sia quella appunto che ci fa apprendere l'urto e la pressione: la sensibilità tattile. Il movente psicologico della teoria evoluzionistica è dunque il medesimo di ogni concezione meccanicistica. Ma noi ormai

(1) Il WUNDT accenna talvolta alla produzione delle differenti funzioni nervose durante l'evoluzione individuale, in base al fatto che si richiede un periodo di esercizio prima di poter compiere bene una funzione nervosa. Ma questo non è argomento contro l'originarietà delle differenze funzionali, perchè ogni funzione, anche specificata, ha bisogno di essere esercitata prima di potersi svolgere bene. E del resto il W. stesso per spiegare in concreto l'origine delle differenze funzionali è costretto a ricorrere all'evoluzione generale della specie, e su questa fonda la prova maggiore per la sua teoria.

abbiamo dimostrato che le qualità sensoriali tattili non meritano questo privilegio di oggettività che attribuisce loro il meccanicismo: come noi attribuiamo agli oggetti colori e sapori, ma non per questo possiamo credere che quei caratteri, quelle funzioni, quelle forme di attività degli oggetti che a noi si rivelano come colori e sapori sieno nella realtà qualità visive e gustative, così noi attribuiamo agli oggetti, tra le altre, anche le qualità tattili e muscolari, la resistenza, il peso, il movimento, senza che questo ci possa far concludere che quelle qualità appartengono realmente agli oggetti. Se dunque mancassero altri argomenti (noi discuteremo il valore di quelli recati dal WUNDT nelle critiche speciali), nulla ci costringerebbe a considerare come fonte di tutte le forme di sensibilità il tatto e non, piuttosto, la vista o il gusto o l'odorato o l'udito.

Se non che c'è in ultima analisi una grave contraddizione tra il meccanicismo fisico e la teoria evoluzionistica della sensibilità. Il meccanicismo fisico riduce ogni forma di azione esterna (e quindi ogni forma di stimolazione) a movimento. Ma la differenziazione di tante diverse forme di sensibilità da una unica originaria per cause esterne sarebbe inesplicabile se gli stimoli fisici non fossero profondamente differenti. Come si può dimostrare, ad es., che delle forme di movimento etereo poco differenti (distinte cioè solo per la rapidità) abbiano originate forme di sensibilità diversissime, incomparabili, come quelle per il calore e per la luce? Anzi, poichè i raggi rossi dello spettro sono luminosi e termici allo stesso tempo, bisognerebbe dimostrare come *una medesima* forma di azione esterna abbia potuto modificare la sensibilità tattile in maniere tanto diverse, agendo ora come stimolo meccanico, ora come stimolo fotochimico. E lo stesso si potrebbe ripetere per quella forma di azione che si manifesta al tatto e alla vista come movimento vibratorio e all'udito come suono. L'adattamento dell'organismo agli stimoli, se vuole spiegare l'origine delle varie forme di sensibilità da un unico tipo, deve dunque presupporre una profonda differenza di natura e di azione tra gli stimoli stessi, in contrasto coi presupposti filosofici della concezione meccanica.

Ma anche se ci si concede la tesi alla cui dimostrazione abbiamo dedicate le prime due parti del presente lavoro -

l'esistenza cioè di energie fisiche diverse ed irriducibili - il concetto di adattamento va incontro ad altre difficoltà.

L'adattamento dell'organismo agli stimoli deve consistere per ciascuna parte dell'organismo nella capacità di rispondere a certi determinati stimoli e non ad altri. Ma poichè in origine, quando la sensibilità non è, secondo la teoria che discutiamo, ancora differenziata, tutti gli stimoli agiscono indifferentemente su tutto l'organismo, non si vede alcuna ragione perchè in alcuni punti dell'organismo debba nascere la capacità di essere eccitato da certi stimoli piuttosto che da altri; se una parte dell'organismo *sceglie*, per così dire, nel complesso degli stimoli esterni quelli ai quali risponde e si adatta, ciò vuol dire che possiede già la capacità di reagire a quegli stimoli. Si chiami o no energia specifica, questa capacità selettiva delle varie parti dell'organismo dev'essere anteriore all'azione degli stimoli esterni e quindi all'adattamento: è un presupposto dell'adattamento. Certe differenti *predisposizioni* a ricevere questo o quello stimolo non crediamo che possano essere negate. Si obietta: perchè il nervo ottico risponda con una sensazione luminosa a qualsiasi eccitazione, è necessario che almeno una volta sia stato eccitato dallo stimolo luminoso. Sta bene: ma perchè, replichiamo, mentre quel nervo poteva essere eccitato da uno stimolo luminoso non poteva essere eccitato da uno stimolo olfattivo o sonoro? Non si vorrà rispondere che è un puro caso, col rischio di contraddire all'esperienza che, nell'evoluzione stessa, ci mostra tanta regolarità ed armonia. Vi dev'essere dunque qualche cosa di specifico che l'adattamento non può creare. E con questa concessione, si badi, di certe predisposizioni delle varie parti dell'organismo (che diventano poi gli organi sensoriali differenziati e i nervi e i centri connessivi) a rispondere a determinati stimoli non si esclude affatto che poi, per l'azione prolungata degli agenti esterni, gli organi si siano perfezionati, adattati meglio al compimento della funzione, abbiano reso possibile l'arrivo al nervo di stimoli che prima sfuggivano ecc.; l'adattamento degli organi e il miglioramento delle funzioni in seguito all'esercizio non contrasta con l'ammissione di qualche differenza originaria nel modo di svolgersi dei varî processi nervosi.

Dal punto di vista psicologico, la teoria del Wundt incontra difficoltà insuperabili. Essa condurrebbe a considerare

le qualità tattili come la matrice comune di tutte le qualità sensoriali; ma se fosse così, dovremmo constatare una certa parentela tra le qualità tattili e le altre qualità. Invece noi non osserviamo nessuna somiglianza tra un colore, un suono, un profumo, una temperatura, un sapore da un lato, e l'urto e la pressione dall'altro: le qualità appartenenti ai diversi campi sensoriali sono incomparabili e non è concepibile un passaggio continuo dall'una all'altra. Se del resto leggiamo le pagine del Wundt, non possiamo fare a meno di notare ch'egli, nel descrivere le cause della trasformazione delle qualità sensoriali, si esprime con frasi vaghe e imprecise: certi punti del corpo, egli dice, sono stati resi *più sensibili* all'azione degli stimoli; ma questo aumento di sensibilità, questa modificazione puramente quantitativa non può spiegare una trasformazione qualitativa così grande come sarebbe quella di un urto in un colore. In queste illusorie spiegazioni si palesa sempre l'errore del meccanicismo, la riduzione della qualità alla quantità. Ma dal lato psicologico l'assurdo è anche maggiore che dal lato anatomico: che sarebbe, p. es., una qualità sensoriale intermedia tra un contatto e un colore, tra una puntura e il rosso, o tra un urto e un suono? Ci troviamo nell'impossibilità di rappresentarci le fasi, i diversi stadî dello sviluppo delle qualità sensoriali attraverso la supposta evoluzione. L'irriducibilità delle qualità sensoriali è un fatto che non può esser negato da nessuna teoria.

B) Veniamo alle critiche speciali. Le più recenti ricerche di anatomia e fisiologia comparata conducono a confutare parecchi punti della dottrina evoluzionistica del Wundt. Una volta si credeva da molti scienziati che in alcune specie inferiori di animali l'integumento corporeo, anatomicamente indifferenziato, fungesse da organo tattile e da organo visivo, essendo capace di reagire tanto alle stimolazioni meccaniche quanto alle stimolazioni luminose; e sorse una speciale teoria, la *dermatottica,* che credeva di cogliere sul vivo le fasi di passaggio dalla sensibilità tattile a quella visiva. Ma gli studî ulteriori di Hesse, di Apathy e d'altri hanno dimostrato che l'integumento corporeo in quegli animali (platelminti, anellidi, alcuni celenterati, molti lamellibranchi, l' *Amphioxus* ecc.) è tutt'altro che semplice e indifferenziato, chè anzi si scorgono terminazioni nervose specifiche eccitabili dagli stimoli luminosi; gli organi della vista non sono affatto confusi con gli organi della sensibilità generale.

Un problema assai importante riguarda la natura dei due sensi chimici, l'olfatto e il gusto. Chi afferma, col WUNDT, la loro somiglianza, anzi la loro unità fondamentale, sembra fermarsi più alle apparenze che alla realtà. Già anche le osservazioni psicologiche sulla dissociabilità dei due sensi provano che questi non possono essere ridotti ad uno solo; e la differenza non sta, come tanti dicono, solo nel fatto che il gusto viene eccitato da sostanze allo stato di soluzione e l'odorato da sostanze gassiformi, poichè la dissociazione dei due sensi ha luogo anche in quegli animali (i pesci) che, per la natura del loro ambiente, ricevono tutte le stimolazioni chimiche per mezzo di sostanze allo stato liquido. Ma anche dal lato istologico vi sono differenze importanti: le cellule olfattive, secondo le ricerche di RENAUT e JACQUES (1894), sono cellule sensoriali *primarie*, in quanto che il corpo cellulare funge direttamente da terminazione nervosa: sono cellule ganglionari, situate alla superficie della mucosa, e i loro prolungamenti centrali si continuano (o si connettono, secondo la teoria del neurone) con le fibre nervose. Invece nel gusto le cellule ganglionari sensitive sono assai più profonde, e i loro prolungamenti periferici, che sono lunghissimi, vanno a terminare sulle cellule contenute nei calici gustativi delle papille della mucosa linguale, cellule le quali, per sè, non posseggono alcun prolungamento nervoso, ed hanno quindi, come organo sensoriale, una funzione secondaria. Per questi motivi un fisiologo francese, che si è molto occupato del problema, ritiene di poter concludere: « On ne saurait considérer les cellules olfactives et les cellules gustatives comme ayant les mêmes fonctions; elles n'ont aucune analogie » (1).

Tra i varî sensi cutanei vanno compresi anche degli organi rappresentati dalle pure e semplici terminazioni nervose, le terminazioni libere intraepidermiche: esse non sono fornite di nessun organo sensoriale speciale, neppure di quei « corpuscoli » che chiudono alla periferia le terminazioni tattili. La loro eccitazione provoca delle sensazioni dolorose che non dipendono certo da alcun organo periferico, ma dal modo in cui le fibre (o i centri) rispondono alle eccitazioni dirette, immediate, degli stimoli esterni.

Un certo numero di ricerche assai interessanti è stato fatto

(1) L. MARCHAND, *Le goût* (Paris, Doin, 1903), p. 73.

per stabilire i rapporti tra sensibilità tattile e sensibilità uditiva. Dal fatto che alcuni sordomuti dalla nascita riescono ad intendere le parole che altri pronunziano accostando le labbra alla superficie del loro corpo, l'Egger aveva dedotto che i nervi che ordinariamente provocano le sensazioni tattili sono capaci di provocare sensazioni sonore. Aggiungeva che certi colombi sembrano ricevere sensazioni tattili quando si stimola il loro nervo acustico dopo averne staccato l'organo uditivo periferico (fatto per altro nè accertato nè accertabile in maniera definitiva), e concludeva che da un lato i nervi tattili possono funzionare anche come nervi acustici, dall'altro che i nervi acustici si abbassano al livello dei nervi della sensibilità generale quando se ne svellono gli organi periferici differenziati. Ma un esame accurato dei fatti e nuove esperienze hanno confutata l'opinione dell'Egger; se i sordomuti, che già hanno imparato a capire le parole pronunziate da altri per mezzo dei movimenti delle loro labbra (sensazioni visive) e a rispondere colla voce, capiscono anche le parole pronunziate sul palmo della mano (sensazioni tattili), non è perchè l'eccitazione dei nervi tattili provochi sensazioni uditive, ma perchè la finezza della loro sensibilità tattile, congiunta con un'opportuna educazione, li rende capaci di distinguere le impressioni tattili provocate da ciascuna sillaba sulla superficie cutanea, di associarle colle imagini visive dei movimenti delle labbra e quindi di trascriverle nelle parole articolate. Tanto è vero che i soggetti sperimentati non mostrarono di provare sensazioni affatto nuove, quali dovrebbero essere, per dei sordomuti, le sensazioni uditive, e non ebbero bisogno di quell'educazione che sarebbe stata necessaria se tutto un nuovo complesso di qualità sensoriali venisse risvegliato in loro e dovesse acquistar significato nella loro mente[1].

Per ultimo accenneremo fuggevolmente ad alcune induzioni relative alla sensibilità cromatica. Proprio sulle basi della teoria darwiniana un biologo inglese, il Grant Allen, studiando l'evoluzione del senso dei colori nel mondo animale giunse alla conclusione che, là dove esistono organi visivi differenziati, la percezione dei colori non è sostanzialmente differente in animali

---

(1) V. Giulio Masini, *I nervi della sensibilità generale possono trasmettere i suoni?* (in *Bollettino della R. Accademia medica di Genova*, anno XVI, 1901, pp. 287-304).

diversissimi, come p. es., gli uccelli e i mammiferi da un lato e gli insetti dall'altro [1]; non ci si presenterebbe mai una sensibilità cromatica profondamente inferiore a quella degli animali già evoluti; sicchè sembra che questa forma di sensibilità abbia avuto per punto di partenza qualche cosa di specifico e non sia derivata per gradi da un'altra.

Ed ora possiamo concludere. Che cosa resta della teoria evoluzionistica del WUNDT? Per quanto bella e suggestiva potesse sembrare a prima vista, essa non regge in nessuna sua parte al controllo dei fatti; ha il difetto delle concezioni teoriche formulate al di fuori dell'esperienza, sulla base di principî generali assunti con scarso spirito critico come fondamento di dottrine che soltanto nei dati di fatto possono trovare o appoggio o confutazione. A noi rimane perciò ora il compito di vedere verso quali ipotesi ne spinge il complesso delle osservazioni e delle ricerche sperimentali, senza partirci da teorie preconcette che allontanano invece di avvicinare alla verità più probabile.

IV. I confini della fisiologia e le funzioni spirituali.

Nei dibattiti tra le opposte dottrine fisiologiche si rivela un malinteso che noi dobbiamo decisamente evitare: il preconcetto, cioè, che vi sia un contrasto, una inconciliabilità, un'opposizione tra il principio delle energie nervose specifiche e la teoria dell'evoluzione. Uno dei motivi che hanno fatto acuire questo contrasto è stato forse il concetto alquanto primitivo e grossolano che il MÜLLER aveva delle sue « energie specifiche », quasi fossero forze misteriose, virtù occulte di un enigmatico spirito vitale; ma in fondo il valore del principio mülleriano è indipendente dai presupposti vitalistici od antivitalistici della biologia: esso infatti, nel suo significato più ampio, vuole ammettere che i processi nervosi - o che possano essere ridotti a puri processi fisico-chimici, o che siano processi di natura speciale - debbono presentare delle differenze funzionali in rapporto con le diverse funzioni sensoriali di cui sono la condizione fisiologica. Ciò posto, la differenziazione funzionale

(1) V. A. ESPINAS, *Le sens de la couleur, son origine et développement* (al proposito del libro del GRANT ALLEN, *The colour sense, its origin and developpement*) (in *Revue philosophique*, IX, 1880, pp. 1-20 e 170-195).

(ed eventualmente anche strutturale) (1) tra le varie parti del sistema nervoso non va ritenuta come diversa da quella che si riscontra in qualsiasi altro sistema dell' organismo: come nel corso dell'evoluzione si sono andati differenziando organi (come la bocca, l'esofago, lo stomaco, l'intestino) che negli organismi primitivi non erano costituiti, così si sono andate differenziando le diverse parti del sistema nervoso: ma come non verrebbe in mente ad alcuno di dire che la bocca, lo stomaco, l'intestino ecc. sono funzionalmente indifferenti sol perchè non erano distinti negli organismi primitivi, così dal fatto che negli animali inferiori non ci sia quella ricchezza di specificazione del sistema nervoso che si trova negli esseri più evoluti non siamo autorizzati a dedurre l'assoluta indifferenza funzionale del sistema nervoso.

D'altra parte, oggi non s' intende più l'evoluzione nel rigido senso darwiniano, come un lento succedersi di variazioni minime continue; nè è buon metodo scientifico quello di supplire le lacune che l'evoluzione ci presenta con cervellotiche ricostruzioni di supposti anelli intermedî, come sarebbero gli ipotetici stadî di passaggio tra la sensibilità tattile originaria e le forme più evolute di sensibilità (visiva, olfattiva ecc.). Codeste lacune potrebbero piuttosto esser l' indizio di quelle variazioni brusche in cui, secondo le più recenti dottrine, si manifestano la spontaneità e la virtù creatrice della natura in opposizione alle determinazioni meccaniche ed accidentali dell'ambiente esterno. Se si accetta questo punto di vista, svanisce ogni inconciliabilità tra il principio delle energie specifiche nervose e la teoria dell' evoluzione.

---

(1) Se vi siano differenze istologiche tra i varî centri nervosi funzionalmente differenti (che indicheremo tra breve) è questione assai dibattuta nè ancora risolta. Ma dal complesso delle ricerche appare che differenze strutturali esistono, se pur non si comprende in che rapporto stiano con le diverse funzioni sensoriali. La regione rolandica, centro tattile, ha la tipica struttura della corteccia cerebrale coi quattro strati sovrapposti (strato molecolare, strato delle piccole cellule piramidali, strato delle grandi cellule piramidali, strato delle cellule polimorfe). Nei lobi occipitali, centro visiso, tra il primo e il secondo strato si intercala un altro strato di cellule fusiformi verticali. La regione temporale, sfera uditiva, avrebbe delle caratteristiche cellule cilindriche. Nella regione dell'ippocampo e nelle regioni circonvicine, centri olfattivi, il secondo e il terzo strato (cellule piramidali) sono fusi in uno solo, e le cellule stesse coi loro prolungamenti terminano in speciali ramificazioni che richiamano alla mente la struttura del bulbo olfattivo (v. Testut, *Traité d'anatomie humaine*, 5ª ediz., Paris, Doen, 1904; vol. II, pp. 701 sgg., 752., sgg.).

Chiarito questo punto, crediamo che non vi sia più motivo di ripugnanza nell'adottare l'idea centrale del principio delle energie nervose specifiche, l'idea cioè che le diverse qualità sensoriali debbano avere la loro condizione fisiologica in processi nervosi differenti. Quello che vi è di sicuro è che la sola disposizione spaziale delle parti del sistema nervoso (la posizione dei centri) e le sole differenze quantitative (intensità, durata, meccanismo dell'eccitazione) non esauriscono le condizioni fisiologiche dell'origine delle differenze qualitative: tutti i fatti sperimentali che abbiamo riferiti nel I° cap. di questa III^a parte del nostro lavoro sono una prova incontrovertibile della giustezza di quest'idea, senza la quale, come disse un valente fisiologo francese, la fisiologia del sistema nervoso ricadrebbe in quel caos da cui l'ha tratta pel primo Giovanni Müller.

Ma, ammesso questo principio fondamentale, dobbiamo mettere in guardia contro le facili esagerazioni che, in diversi sensi, possono condurre ad errori. E prima di tutto dobbiamo mettere in guardia contro l'illegittima estensione del principio delle energie nervose specifiche a tutte le singole qualità sensoriali, quasichè esistessero, come l'Helmholtz e molti altri autori hanno riaffermato, delle numerore terminazioni nervose (periferiche e, rispettivamente, centrali) specificate per i diversi colori, altre pei varî suoni, altre pei varî sapori, odori ecc.: le esperienze meglio accertate, le ricerche istologiche e fisiologiche più sicure e tutte le difficoltà dinanzi a cui, come dicemmo a suo luogo, si arresta la dottrina helmholtziana, ci spingono a ritenere che non si possa parlare di specificità di processi nervosi se non per le varie «modalità» di sensazioni. Quali siano queste modalità, è un problema che la scienza cerca di risolvere sempre meglio col progredire delle indagini; oggi enumeriamo sette modalità irriducibili di sensazioni: sensazioni visive, uditive, olfattive, gustative, tattili, termiche, muscolo-articolari; ma non si può escludere che nel seguito si debba modificare questa lista, o mostrando che quelle che prima sembravano modalità differenti siano soltanto diverse qualità di una modalità unica, o mostrando che quelle che sembravano semplici differenze qualitative siano invece differenze di modalità. Ma l'importante si è di non cercare un centro nervoso speciale per ogni qualità sensoriale: altrimenti il numero dei centri dovrebbe essere infinito, e ciascuno non potrebbe comprendere che una o

due cellule. I centri nervosi che appaiono con certezza specializzati per le diverse funzioni sensoriali e motrici si riducono a poche regioni, in ciascuna delle quali è vano ricercare ulteriori specificazioni (1).

Un altro errore da cui bisogna stare in guardia è quello di eliminare ogni importanza dagli organi sensoriali periferici e di togliere valore all'efficacia incontestabile dell'adattamento.

Gli organi periferici presentano una complessità di struttura e una specificità di funzioni tali da apparire opportunamente adattati a ricevere gli stimoli esterni; l'esistenza degli organi periferici rende possibile, come già dicemmo, l'eccitazione dei nervi per parte di molti stimoli che altrimenti non sarebbero capaci di agire direttamente sulle terminazioni nervose; così il mondo delle nostre rappresentazioni viene arricchito e la finezza dei nostri sensi acuita. Lo studio dell'occhio può essere istruttivo a questo riguardo; intanto, il meccanismo di accomodazione del cristallino facilita l'arrivo degli stimoli sulla retina; inoltre gli stessi stimoli luminosi che eccitano il nervo ottico, eccitano anche i nervi collegati coi muscoli che presiedono ai movimenti di dilatazione e di contrazione del-

(1) Sulla questione delle localizzazioni cerebrali molto si è discusso e molto si è esagerato in opposti sensi, giungendosi da alcuni a negarle affatto, da altri a moltiplicare i centri per tutte le funzioni psichiche. Ai primi basta obiettare tutti i casi di eccitamento nelle diverse regioni corticali a cui rispondono determinate modalità di sensazioni o determinati movimenti, e i casi in cui l'ablazione di una zona corticale produce la soppressione della funzione corrispondente. Coloro che hanno esagerato in senso inverso hanno moltiplicati i centri per ciascun modo di esplicare le funzioni psichiche; p. es., hanno ammesso un centro per la percezione dei numeri, un centro per la percezione delle lettere, un centro per la percezione delle parole pronunciate, un centro per la percezione dei suoni musicali, ecc., mentre qui non si tratta di differenze nella sensazione, ma di differenze nel *significato* che noi attribuiamo ai dati sensoriali. Poi si è ammessa una differenza tra i centri delle rappresentazioni e della memoria e i centri delle sensazioni; e il MUNK (« *Ueber die centralen Organe für das Sehen und das Hören bei den Wirbelthieren* » nei *Sitzungsberichte d. königl. preuss. Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 1889, pp. 615-632) ha creduto di potere spiegare con questa distinzione i fatti osservati dal WUNDT sui ciechi nati e sordi nati: se i ciechi nati e sordi nati non hanno imagini e sogni visivi e uditivi, la ragione, dice, è che tali imagini (Sinnesvorstellungen) sono legate ad un centro diverso da quello a cui sono legate le sensazioni (Sinnesempfindungen); e i centri delle imagini non possono funzionare se non hanno già funzionato i centri delle senzazioni e non hanno prodotto nei centri delle imagini delle formazioni mnemoniche potenziali (potentielle Erinnerungsbilder). Contro questa tesi, v. WUNDT, *Zur Frage der Lokalisation der Grosshirnfunktionen* (in *Philos. Studien*, VI, 1891, pp. 1-25). L'errore del MUNK e dei suoi seguaci è di voler trovare un fondamento fisiologico non soltanto per le funzioni psichiche inferiori, ma anche per quelle che, se hanno bisogno del

l'apparecchio di diottrica oculare; e i movimenti del globo oculare permettono la percezione delle grandezze e delle distanze. Modificazioni morfologiche avvengono anche sulla retina, perchè le punte terminali dei coni si accorciano per influsso della luce, si allungano all'oscurità. Inoltre, sembra che le due specie di cellule visive, quelle a cono e quelle a bastoncino, sieno adattate a ricevere stimoli differenti, perchè i coni sarebbero meglio adattati a percepire le differenze qualitative della luce, cioè i varî colori, la percezione dei quali è chiara sopra tutto nella *maculea lutea* dove tutte le cellule sono a cono; invece i bastoncini sarebbero meglio adattati a percepire la luce acromatica, specialmente la luce crepuscolare; infatti la percezione della luce crepuscolare è più chiara nelle parti periferiche della retina, dove le cellule visive sono tutte a bastoncino. Qui non siamo certo di fronte ad una differenza originaria ed irriducibile di funzionalità, perchè le cellule a cono, sebbene rispondano prevalentemente all'eccitazione degli stimoli colorati, sono capaci anche di reagire all'eccitazione della luce acromatica; qui siamo di fronte a un caso tipico di adattamento: la parte centrale della retina

---

materiale fornito dalle funzioni inferiori e per questo sono connesse colla natura fisiologica, hanno poi la loro radice soltanto nel principio della vita psichica. Sicchè non è ragionevole cercare dei centri per la memoria, per la fantasia, pel pensiero, per la volontà ecc.

Gli studî sulle localizzazioni delle funzioni sensoriali hanno condotto a riconoscere con sicurezza i seguenti centri: 1° centro delle sensazioni visive, dove terminano i nervi ottici: è una regione assai estesa nella corteccia occipitale; 2° centro delle sensazioni uditive: la circonvoluzione temporo-sfenoidale superiore; 3° centro delle sensazioni tattili: una larga regione comprendente la circonvoluzione parietale e la circonvoluzione frontale ascendente che limitano il solco di Rolando, e il loro prolungamento all'interno dell'emisfero (lobulo paracentrale); il quarto superiore della zona perirolandica riceverebbe le impressioni degli arti superiori, i due quarti mediani quelle degli arti inferiori, il quarto inferiore quelle della testa e della lingua; 4° centro delle sensazioni gustative: parete anteriore e media della circonvoluzione dell'ippocampo; 5° centri delle sensazioni olfattive: sono quattro: *a*) esterno, nella circonvoluzione dell'ippocampo; *b*) interno, nella circonvoluzione del corpo calloso; *c*) anteriore, nel lobulo orbitario; *d*) posteriore, nel lobulo occipitale, o secondo altri, nel lobo temporale. ma non bene determinato.

Si osservi che, per la vista, l'udito e il tatto, il centro di un emisfero riceve le eccitazioni della parte opposta del corpo. Tutti i centri sono doppi; quando se ne toglie uno lasciando intatto quello dell'altro emisfero, la sensibilità viene perduta solo dalla parte del corpo a cui presiedeva il centro soppresso; ma dopo qualche tempo vi è ristabilimento funzionale; tali fenomeni di sostituzione non hanno nulla di contrario al principio delle energie specifiche. Invece quando vengono soppressi ambedue i centri, la perdita della sensibilità è bilaterale e permanente.

si è meglio affinata, per l'azione degli stimoli esterni, a percepire differenze qualitative che le parti periferiche non sono capaci di distinguere nettamente. Noi possiamo dunque ritenere, in linea generale, che gli organi periferici si sono formati per l'adattamento delle terminazioni nervose agli stimoli esterni, rendendosi durante l'evoluzione sempre meglio capaci di ricevere e di trasmettere ai nervi le eccitazioni esterne. E soltanto in virtù dell'esistenza di organi di recezione così fini e complicati noi siamo in grado di distinguere le qualità sensoriali fino nelle loro sfumature più delicate e di avvertire gli agenti esterni con quella precisione che, per ciascuna forma di sensibilità, è indicata dai valori della soglia assoluta e della soglia differenziale.

La spiegazione precisa del modo di funzionare degli organi di senso e l'interpretazione di molti fenomeni sensoriali che hanno la loro condizione nelle modificazioni degli organi stessi è compito precipuo della fisiologia. I progressi compiuti in questo campo sono, veramente, assai scarsi, giacchè molti fenomeni sono tuttora inesplicati. Basta pensare ai varî tentativi, quasi sempre infruttuosi, di chiarire i complessi fenomeni che hanno luogo nella percezione dei colori (miscugli e combinazioni di colori, imagini consecutive positive e negative, contrasto simultaneo): le teorie enunciate, oltre all'essere tutte ipotetiche e spesso incapaci di verificazione sicura, hanno questo comune carattere, che se riescono a spiegare un gruppo di fenomeni, per la cui interpretazione furono specialmente costruite, sono contraddette da altri fenomeni o per lo meno non riescono ad offrirne alcun chiarimento. Così la teoria dell'Helmholtz - la teoria che ammette l'esistenza sulla retina di tre tipi distinti di fibre nervose, la cui eccitazione isolata darebbe luogo alle sensazioni dei tre colori fondamentali, rosso, verde e violetto, e la cui eccitazione simultanea in varie proporzioni darebbe origine a tutti gli altri colori - oltre all'incontrare le numerose difficoltà a cui già accennammo, è contraddetta dal fenomeno delle imagini consecutive: una sensazione di luce rossa suscita un'imagine consecutiva di verde; ma se la sensazione di verde dipendesse dall'eccitazione di una fibra speciale, come mai questa sensazione sorgerebbe dopo che è stata eccitata per un certo tempo la fibra speciale del rosso? — La teoria dell'Hering, assai migliore, ammette l'esistenza di tre sostanze visive, la cui decomposizione operata dai raggi rossi, gialli e bianchi, originerebbe le

sensazioni di questi tre colori, e la cui ricomposizione, operata dai raggi verdi, azzurri e dall'oscurità, originerebbe le sensazioni di verde, azzurro e nero. Costruita per spiegare le imagini consecutive, questa teoria ammette che l'imagine di verde che succede alla sensazione di rosso dipenda dallo spontaneo ricomporsi di quella sostanza che era stata decomposta dai raggi rossi; ma è contraddetta dal fenomeno del contrasto simultaneo, specie nella forma delle « ombre colorate », in cui i colori complementari non si succedono, ma sono presenti insieme; ed è contraddetta da molti casi di cecità parziale per i colori (p. es. la cecità per il rosso e non per il verde, la cecità per il giallo e non per l'azzurro ecc.): se infatti la percezione di ciascuna coppia di colori complementari fosse connessa con una stessa sostanza visiva, la mancanza di questa sostanza dovrebbe impedire la sensazione di ambedue i colori. — Infine la teoria del Wundt ammette che la sensazione di ciascun colore corrisponda ad una data frequenza di ondulazioni eteree, e ciascun grado di saturazione dei colori (che ha per limite la luce acromatica) corrisponda all'ampiezza dell'oscillazione. Teoria concepita sul modello della teoria meccanica del suono, pecca appunto in ciò in cui i suoni differiscono dai colori: i suoni non si combinano, non si fondono, mentre i colori si compongono sì da originare qualità affatto nuove; rimane nel vago quando si tratta di spiegare i fenomeni di contrasto, ed è inefficace nella spiegazione delle imagini consecutive: il Wundt le spiega come un effetto dell'esaurimento delle fibre nervose; ma l'esaurimento dovrebbe portare alla fine di una sensazione, non alla creazione di sensazioni nuove.

Fenomeni analoghi a questi hanno luogo anche in altri campi sensoriali. Le imagini consecutive sono evidenti nel tatto, dove (essendo sempre della stessa qualità della sensazione) sono spiegate con sufficiente chiarezza dall'ipotesi di una doppia conduzione nervosa. Miscugli e contrasti di qualità hanno luogo anche nell'olfatto e nel gusto, dove si riscontra una complementarità di odori e di sapori analoga a quella dei colori. Infine, come i citati casi di cecità pei colori, così in altre forme di sensibilità si riscontrano delle anomalie costituzionali che, pur non essendo normali, non dipendono da cause patologiche. Di tutti questi fenomeni l'anatomia e la fisiologia dei sensi e del sistema nervoso sono chiamate a dare spiegazione.

Ma anche quando l'anatomia e la fisiologia avranno reso

esatto conto di tutti questi fenomeni, si potrà dire che abbiano esaurito il compito di spiegare l'*origine* delle qualità sensoriali? Tutte le spiegazioni anatomiche e fisiologiche riguardano le condizioni somatiche dell'origine delle qualità sensoriali; ma queste *condizioni* non sono ancora le *qualità* stesse. Le vibrazioni, per es., delle ciglia vibratili delle cellule nell'organo del Corti, la trasmissione delle vibrazioni attraverso le fibre del nervo acustico lungo tutte le vie centripete, e l'eccitazione delle cellule della regione temporo-sfenoidale della corteccia cerebrale, non costituiscono ancora la qualità sensoriale del suono: anzi, tra i processi nervosi e le qualità sensoriali non c'è somiglianza, non c'è neppure comparazione possibile. Noi non troviamo, nel sistema nervoso, le qualità sensoriali accanto ai prodotti chimici delle eccitazioni e del ricambio materiale: colori, suoni, odori ecc. non sono prodotti esterni dell'azione di elementi materiali, ma determinazioni interne di un soggetto, di una psiche; i processi nervosi non acquistano significato e valore di qualità sensoriali se non in un soggetto fornito di coscienza. Da questo punto di vista noi, pur tenendo per fermo che alle diverse qualità sensoriali debbano corrispondere forme speciali e differenziate di processi nervosi, possiamo ben dire che le vere e proprie « energie specifiche » hanno la loro base nella psiche, sono, cioè, le diverse vie in cui si svolge e si specifica l'attività del soggetto senziente.

Nè si creda che questa sia affermazione di puro interesse metafisico e che non abbia rapporto con la spiegazione scientifica dei fenomeni sensoriali: l'analisi dei fenomeni sensoriali dimostra che non tutto attende la sua spiegazione dai reperti anatomici e dagli esperimenti fisiologici, ma che non pochi fatti debbono essere interpretati come manifestazioni dell'attività propria del reale psichico. L'attività giudicatrice, ad esempio, influisce molto sull'avvertimento delle qualità sensoriali: un errore di giudizio può fissarsi con tanta forza da generare un'illusione sensoriale incorreggibile. Così nel campo delle illusioni ottico-geometriche vi sono quelle che dipendono da errori di comparazione delle grandezze e delle forme (p. es. un circolo circoscritto da un altro circolo sembra più o meno piccolo secondo che il circolo esterno è più o meno grande); e forse anche nella famosa illusione della luna all'orizzonte, non ancora del tutto chiarita, un elemento importante è l'errore di giudizio nell'apprezzamento delle grandezze e delle

distanze. Errore di comparazione è anche l'altra notissima illusione dei pesi, per cui di due oggetti di ugual peso ma di differente volume sembra più pesante quello meno voluminoso. Anche alcuni fenomeni di contrasto (simultaneo e successivo) non possono essere spiegati coi dati fisiologici: p. es. alcune qualità sensoriali molto diverse, come il rosso e il verde, il dolce e l'amaro, sembrano più intense di quel che sono quando vengono presentate contemporaneamente o in successione immediata: il rinforzo dell'intensità è dovuto alla comparazione. In linea generale possiamo dire che la funzione del porre rapporti, che è funzione giudicatrice, esercita un grandissimo influsso sulla formazione del mondo delle nostre rappresentazioni: e la funzione relazionale non può essere ricondotta a fatti anatomici e fisiologici (1).

L'esercizio, l'abitudine, l'adattamento, la suggestione sono altri fattori psicologici che influiscono sul mondo delle sensazioni. Con l'esercizio si affina l'attenzione e si diventa capaci di avvertire stimoli e differenze tra stimoli che prima cadevano sotto la soglia della coscienza: onde i valori della soglia sensoriale assoluta e differenziale vengono abbassati. L'adattamento è spesso causa di un'illusione che altera il valore della

(1) I tentativi di questa « riduzione » hanno interesse per chi voglia raccogliere le illusioni degli scienziati. Quando la fisiologia non dà, perchè non può dare, alcuna spiegazione dei fatti psichici, gli scienziati si contentano di tradurre i fatti di coscienza in linguaggio fisiologico e si illudono di avere sciolto ogni enigma. L'introspezione ci mostra « che il carattere essenziale della coscienza, la condizione senza di cui non si riesce a concepire la stessa coscienza, è lo stabilirsi di rapporti tra le impressioni diverse »? Ebbene, ammettiamo « che la condizione della coscienza debba risiedere soprattutto nei rapporti che si stabiliscono tra gli elementi nervosi »! Le eccitazioni esterne verrebbero in parte elaborate nei contatti tra le diramazioni dei varî neuroni, in parte nell'interno del corpo cellulare; ora, « qualsiasi fenomeno psichico ci si presenta ad un tempo come una conoscenza e come uno stato affettivo, e come l'uno e come l'altra assume diversi rapporti, fa parte di diversi aggregati psichici; come conoscenza è riferito al mondo obbiettivo, come stato affettivo alla nostra personalità »; dunque si conclude che « due distinte elaborazioni delle impressioni esterne avvengano nei centri, una inter-neuronica, tra le terminazioni delle fibre afferenti, una intra-neuronica, tra le onde apportate dai dendriti ed i processi dinamici che si svolgono nell'interno del corpo cellulare; e che la prima corrisponde ai fenomeni di conoscenza, la seconda agli stati affettivi ». (E. Lugaro, *I recenti progressi dell'anatomia del sistema nervoso in rapporto alla psicologia ed alla psichiatria*, in *Riv. di patologia nervosa e mentale*, vol. IV, 1899, pp. 488, 494. Ognuno vede la colossale confusione tra « rapporti mentali » e « contatti esterni tra le fibre nervose », tra « stati psichici del soggetto » e « processi interni delle cellule ». Così i tentativi di travestire i fatti spirituali con vocaboli della fisiologia debbono, come ogni mascherata, finire nel ridicolo.

soglia sensoriale: quando si ricerca la soglia col metodo delle variazioni minime si ottiene un valore diverso secondo che si procede per stimoli crescenti o per stimoli decrescenti: nè si tratta punto di modificazioni organiche, ma solo dell'adattamento psichico, che conduce a sopravalutare o a sottovalutare la grandezza degli stimoli. La suggestione, nella forma dell'attesa o delle numerose « idee direttrici », produce molte altre illusioni sensoriali, come risulta dalle così dette « reazioni false e reazioni anticipate » che abbondano negli esperimenti sul tempo di reazione. Infine l'associazione, la memoria, la fantasia elaborano i dati sensoriali, integrano le lacune della percezione, contribuiscono a costituire e ad isolare quei complessi sensoriali che diciamo « corpi », dànno una forma, un ordine ai dati bruti dei sensi, in modo da formare l'organismo dell'esperienza. Nell'esperienza le qualità sensoriali sono collocate in una complessa rete di rapporti (spaziali, temporali, classificativi, quantitativi ecc.) in cui si estrinseca la funzionalità propria della psiche.

Ai confini dell'anatomia e della fisiologia troviamo così una forma di realtà le cui manifestazioni non sono racchiuse nell'ambito di quelle scienze: la realtà spirituale.

CONCLUSIONE

L'analisi delle teorie fisiche, delle teorie chimiche e delle teorie fisiologiche sull'origine delle differenze qualitative ci ha condotto a questi risultati finali:

1.° Mentre la concezione meccanica della natura mirava a ridurre tutti i fenomeni naturali a variazioni quantitative di un unico processo fisico, il movimento, abbiamo veduta la necessità di riconoscere l'esistenza di alcune forme di energia irriducibili, qualitativamente differenti, e cioè, la forza di gravità, l'energia cinetica, l'energia termica, l'energia luminosa, l'energia elettrica e l'energia chimica. Il fatto dell'irreversibilità, negato dal meccanicismo, ci si è mostrato legge generale della natura fisica; poichè il corso dei cangiamenti non è indifferente nella sua direzione e tale da poter essere invertito col solo mutare dei parametri dello spazio e del tempo, ma ha una determinata direzione verso un termine, un'evoluzione che ha per mèta lo stato di equilibrio.

2.° L'esame delle ipotesi sulla costituzione della materia ci ha mostrato l'inanità dei tentativi fatti in diverse maniere per derivare da una natura omogenea le differenze qualitative; gli elementi chimici presentano tali diversità nel loro comportamento rispetto alle varie energie fisiche, che è necessario riconoscere l'eterogeneità della loro natura. Così mentre la fisica ci ha guidato ad ammettere l'esistenza di forme di energia qualitativamente differenti, lo studio della chimica ci ha fatto riconoscere che queste energie s'incentrano in maniere differenti nei singoli elementi della natura.

3.° Le scienze fisiche e chimiche non sono sufficienti a spiegare l'origine delle differenze nelle qualità sensoriali se non sono integrate coi dati delle scienze fisiologiche. Poichè

tuttavia la teoria delle energie nervose specifiche condusse molti a conclusioni analoghe a quelle del meccanicismo in ordine al modo di concepire la realtà, noi abbiamo dovuto esaminare questa teoria, e discuterla in contraddittorio con l'opposto principio dell'indifferenza funzionale, per concludere che, quando sia contenuta nei suoi giusti confini e rettamente intesa, non solo non conduce a negare, ma anzi esige che si ammettano delle differenze qualitative tra gli stimoli esterni, alle quali poi si aggiungono quelle che trovano la loro condizione soltanto nella struttura e nel funzionamento del nostro organismo. I processi fisiologici, infine, se sono la condizione dell'insorgenza delle qualità sensoriali, non vanno confusi con le qualità stesse, la cui origine in ultima analisi va riposta nel soggetto che è principio della vita spirituale.

Sulla base di questi risultati dobbiamo ora cercare di fornire alcune indicazioni sulla natura della realtà. Qui dovremmo anzitutto domandarci se e fino a che punto questo compito sia assolvibile. Noi abbiamo veduto che l'errore della fisica aristotelica consisteva nel pretendere di caratterizzare la realtà per mezzo dei dati della percezione esterna, ed abbiamo aggiunto che anche la concezione meccanica cade nello stesso errore, nonostante le correzioni che ha portate alla teoria aristotelica, perchè concepisce gli elementi della realtà come forniti delle qualità tattili. Possiamo dunque dire in linea generale che è impossibile caratterizzare la realtà oggettiva mediante i dati dell'esperienza esterna. Ma consegue da questo che non ci è assolutamente possibile fare ipotesi sulla natura della realtà oggettiva? Pur di prendere per punto di partenza e per sostegno i dati dell'esperienza, noi possiamo col pensiero non già svelare la natura della realtà, ma formulare alcune *ipotesi* circa il modo come può essere costituita la realtà esterna perchè sia possibile che dalla reciproca azione tra essa e il soggetto cosciente prenda origine il mondo delle nostre rappresentazioni. I fenomeni sono parvenze, indicano che qualche cosa appare a qualcuno; quindi nel mondo fenomenico non abbiamo la rivelazione della realtà, ma possiamo trovare alcune indicazioni per giungere a determinare, mediante il pensiero, che cosa devono essere gli oggetti per apparire come appaiono a noi, e che cosa dev'essere il soggetto per poter avere la rappresentazione degli oggetti. Certamente, se noi credessimo di poter avere della realtà esterna un'intuizione immediata, non solo crederemmo una cosa im-

possibile, perchè la realtà ultima resterà sempre chiusa alla nostra attività percettiva, ma anche cadremmo in un assurdo, perchè come non diamo valore di oggettività ai dati della percezione esterna, così non potremmo ritenere che ci rivelasse la realtà una conoscenza che ne avessimo analoga alla conoscenza empirica: dovrebbe sempre nascerci il giusto sospetto che una tale conoscenza non sia conoscenza di realtà, ma di fenomeni. Perciò se possiamo in qualche modo conoscere la realtà, non è certo cogli stessi mezzi con cui apprendiamo i dati dell' intuizione sensoriale. Ma non tutta la conoscenza si esaurisce nella conoscenza empirica; chè se su questa deve sempre appoggiarsi il pensiero, ove non voglia costruire sul vuoto, è appunto mediante il pensiero che possiamo giungere a caratterizzare la realtà (1). Naturalmente, siccome i dati dell'esperienza sono sempre di necessità limitati, alle nostre investigazioni fondate sui risultati delle scienze non possiamo dare altro valore che di ipotesi; le *ipotesi* metafisiche saranno tanto più adeguate e tanto più potranno ricevere la nostra adesione quanto più vasto sarà il campo dell'esperienza su cui si appoggeranno, quanto più riusciranno a spiegare i fatti e saranno razionalmente coerenti. Le ipotesi metafisiche dipendono dunque dal grado di sviluppo raggiunto dalle diverse scienze e in generale dallo stato della cultura di ciascun periodo storico; sarebbe vana pretesa il costruire senza basi scientifiche simili ipotesi, le quali altrimenti sarebbero assai più il frutto della fantasia dell'artista che della mente del filosofo. Per questa inevitabile dipendenza la filosofia non potrà essere mai una sistemazione definitiva del sapere; ma d'altra parte per essa appunto la filosofia partecipa del carattere progressivo delle scienze sperimentali.

Quello poi che non bisogna dimenticare è che i resultati di una sola scienza non forniscono indizî sufficienti a risolvere i massimi problemi della filosofia. Tutto il presente lavoro ha dimostrato quanto sia necessaria l'intima collaborazione della fisica con la chimica, con la fisiologia, con la psicologia: un fatto in apparenza così semplice come la percezione di un oggetto implica elementi la cui analisi è di competenza delle

---

(1) Anche alcuni neo-kantiani si accostano a questa posizione; cfr. Riehl, *Der philosophische Kriticismus und seine Bedeutung für die positive Wissenschaft* vol. II, pag. 50.

scienze della natura esterna, fattori studiati dalle scienze biologiche ed altri che sono oggetto delle indagini psicologiche; se dunque restringessimo le nostre considerazioni ai dati di una sola scienza correremmo il rischio di giungere a conclusioni unilaterali e perciò inadeguate o false. Una visione sintetica dei diversi campi del sapere scientifico è necessaria a chi voglia tentare la soluzione dei problemi metafisici. Noi dunque, senza pretendere affatto di dare una determinazione definitiva della realtà, cercheremo di scuoprire verso quali ipotesi sembrano spingerci i resultati delle scienze moderne.

Criticando la teoria cartesiana della relatività del movimento, Leibniz aveva notato che se il movimento consistesse soltanto nello spostamento locale, che è tutto ciò che noi percepiamo nel movimento, si giungerebbe all'assurda conseguenza che non c'è differenza tra la quiete e il movimento; noi abbiamo ripetuta questa critica discutendo il problema del movimento assoluto e del movimento relativo ed abbiamo concluso che nel corpo che si muove v'è qualche cosa di più che nel corpo che sta in quiete, ed è l' « energia di movimento » (1). Interpretando metafisicamente questa distinzione, possiamo dire che il corpo in movimento esplica una forma di attività che non esplica il corpo in quiete; il movimento come spostamento locale non ha niente di oggettivo, essendo un complesso di qualità sensoriali, ma vi è una forma di attività che a noi si manifesta come movimento. Una forma di attività è ciò che vi è di oggettivo in quello che soggettivamente ci appare movimento. Leibniz per altro considerava tutti i processi fisici come processi meccanici (2) e quindi attribuiva agli agenti fisici una sola forma di attività, aprendo la via al dinamismo del Boscovich; noi invece abbiamo dimostrato, sulla scorta dei risultati delle moderne indagini scientifiche, che le varie forme di energia non possono essere ridotte ad un unico tipo; dunque siamo spinti ad ammettere l'esistenza, negli agenti esterni, di diverse forme

---

(1) « Unde si nihil aliud inest in motu, quam haec respectiva mutatio, sequitur nullam in natura rationem dari cur uni rei potius quam aliis ascribi motum oporteat. Cujus consequens erit, motum realem esse nullum. Itaque ad hoc, ut moveri aliquid dicatur, requiremus non tantum ut mutet situm respectu aliorum, sed etiam ut causa mutationis, vis, actio sit in ipso ». Leibniz, *Animadversiones in partem generalem principiorum cartesianorum; ad partem secundam, ad art.* 25 (ed. Gerhardt, Vol. IV, p. 369).

(2) V. Leibniz, *Epistola ad Jac. Thomasium* (1669) (ed. Gerhardt, Vol. I, p. 15-27).

di attività, qualitativamente differenti, per quante sono, nel mondo fenomenico, le forme di energia irriducibili che noi constatiamo o perchè ci si rivelino alla percezione sensoriale (attrazione, movimento, calore, luce) o per gli effetti a cui danno luogo e che noi percepiamo (energia elettrica ed energia chimica). Quello che vi è di oggettivo dunque è l'esistenza di speciali forme di attività, e soltanto là dove si ha manifestazione di attività può parlarsi di esistenza reale. In che consistano, oggettivamente, queste diverse forme di attività non possiamo dirlo, perchè ogni tentativo di caratterizzarle farebbe introdurre di nuovo dei dati empirici, fenomenici; per questo dobbiamo spogliare il concetto di forza di ogni contenuto sensoriale e limitarci a definirla come « una forma di attività che o si manifesta attualmente con un cangiamento o contiene la possibilità di un cangiamento ».

La teoria atomica, come ipotesi metafisica, si mostra incompatibile con questi risultati: a parte l'errore di concepire gli elementi ultimi della realtà come forniti di proprietà che sono dati sensoriali (l'estensione, la solidità, l'impenetrabilità, l'indivisibilità soltanto fisica) e a parte l'inconseguenza di attribuire agli atomi quelle proprietà ch'essi dovrebbero servire a spiegare, la concezione di atomi assolutamente inerti e passivi contraddice al risultato più sicuro delle ricerche scientifiche: l'esistenza di forze fisiche, di forme di attività proprie degli elementi reali. Neppure i semplici processi meccanici sono intelligibili finchè si nega agli elementi reali ogni forma di attività; un corpo in movimento possiede la capacità di determinare il movimento di un altro corpo, di determinare lo sviluppo di calore ecc.: in questa capacità consiste la forma specifica della sua attività; e, d'altro canto, un corpo non può mettere sè stesso in movimento se non attua, sia pure in seguito all'azione di un altro corpo, in sè stesso una modificazione per la quale acquista la capacità di svolgere quella forma di energia. Così con l'ammettere degli elementi puramente passivi, forniti soltanto di proprietà meccaniche e capaci solo di azioni esterne, non si rendono intelligibili neanche i processi fisici più semplici, che presuppongono una modificazione dell' *interno* degli elementi, uno svolgimento di attività.

Quello che abbiamo detto del movimento va ripetuto a maggior ragione per le altre forme di energia qualitativamente differenti. Ed ora possiamo comprendere in che consista il can-

giamento qualitativo. Quando diciamo che l'urto dei due corpi è la condizione necessaria perchè i due corpi si riscaldino - cioè che il consumo di una data quantità di energia cinetica è necessario perchè si svolga una data quantità di energia termica -, possiamo interpretare metafisicamente il fenomeno dicendo che è stato necessario mettere quei corpi in condizione di svolgere quella data forma di attività che soggettivamente si manifesta come movimento, affinchè essi potessero determinare in sè quelle modificazioni per cui divengono capaci di svolgere quell'altra forma di attività che soggettivamente si manifesta come calore. Questa maniera d'interpretare il fenomeno, come si vede, è la più vicina ai fatti e quindi la meno arbitraria; non fa che trascrivere i dati dell'esperienza in termini metafisici, spogliandoli (e in questo si allontana dall'aristotelismo) di ciò che, appunto perchè è dato dall'esperienza sensoriale, non può avere significato fuori del mondo delle nostre rappresentazioni (1).

Ma non tutti gli elementi della realtà posseggono le stesse potenzialità, non tutti possono esplicare in ugual modo le diverse forme di energia; quindi non si può ammettere l'omogeneità degli elementi reali come l'ammettevano tanto l'atomismo quanto il dinamismo. Ciò che fa la natura propria di un elemento è il complesso delle sue forme di attività, che a noi si manifesta come il complesso delle sue proprietà fisiche e chimiche; e queste variano da elemento ad elemento, nel senso che ciascun elemento si comporta in maniera speciale di fronte alle diverse forme di energia. Neppure il carattere dell'immutabilità, affermato da tutte le teorie, atomistiche o dinamistiche, inspirate dal meccanicismo, può essere ammesso nell'elemento; nel concetto di elemento una sola nota è essenziale, quella della semplicità, dell'impossibilità cioè di essere risolto in altri elementi che, per le loro proprietà e pel loro comportamento, possano essere considerati come individualità aventi caratteri definiti. La nota dell'immutabilità non può più essere inclusa nel concetto di elemento, dappoichè la disgregazione spontanea dei corpi, la trasformazione degli elementi, hanno

(1) Merita di essere ricordato qui il nome del VACHEROT, il quale, molti anni prima che s'iniziasse il movimento di riflessione critica sulla scienza, giungeva ad analoghi risultati, prevenendo molte critiche posteriori e perfino nelle espressioni anticipando alcuni recentissimi energetisti (v. *La m thaphysique et la science.* Paris, 1858, Vol. II, p. 617 sgg.).

dimostrato che pur nel mondo della natura inorganica vi è una evoluzione, una vita, che, come ha avuto le sue origini, così ha le sue fasi, le sue epoche, la sua fine.

Allo stato attuale delle conoscenze scientifiche, crediamo che un'ipotesi monadologica sia meglio d'ogni altra adatta a render conto dei più importanti fenomeni del mondo della nostra esperienza; senza che pertanto nè presumiamo che possa sciogliere tutti gli enigmi dell'universo, nè riteniamo impossibile che l'ulteriore progresso del sapere consigli di modificarla. Per tutto quello che abbiamo affermato nel corso del nostro lavoro, è evidente che non potremmo caldeggiare un ritorno al monadismo leibniziano; le sue monadi chiuse, « senza porte e senza finestre », assomigliano troppo, per molteplici caratteri, agli atomi del materialismo immutabili, incapaci di azione e privi di vera spontaneità; la sua armonia prestabilita, riflesso di quei dibattiti filosofici che diedero al cartesianismo la duplice eredità della dottrina occasionalista e del monismo spinoziano, non è ipotesi valutabile alla luce dei risultati delle ricerche scientifiche. Il monadismo che oggi si presenta come la più adeguata soluzione del problema metafisico accoglie dalla filosofia leibniziana il nome di « monade » per indicare l'elemento ultimo, irriducibile, indecomponibile della realtà; individualità assoluta, fornita di attività e di un certo grado di spontaneità, avente la sua evoluzione, la sua vita che si esplica nell'interazione con gli altri elementi individuali.

Se non vogliamo chiudere gli occhi alla realtà che pulsa sotto i nostri sguardi, non possiamo aderire ad alcuna concezione che neghi ciò che vi è di più evidente nel mondo della nostra esperienza: il cangiamento. Confessiamo che il cangiamento è un fatto che non può essere risolto in elementi intellettuali, non può essere dedotto logicamente da altro, non può essere razionalizzato: esso anzi ci si presenta come un limite della possibilità di risolvere l'esperienza in elementi intelligibili, al pari della qualità, dell'individualità, dell'attività. Ma questo non è motivo per negarlo, come tante dottrine hanno tentato, dall'antichità greca ai giorni nostri: il cangiamento non è illusione, non è fantasma, è anzi ciò che di più reale sperimentiamo in noi stessi e nel mondo esterno. Anche per questo motivo non possiamo ammettere l'immutabilità degli elementi e differenziamo il nostro concetto della monade da quello che

altri filosofi se ne sono formati. Da un lato la critica della conoscenza, mostrando la fenomenalità del mondo della nostra esperienza esterna e vietando così di attribuire agli elementi della realtà quelle qualità che, compresa l'estensione, appartengono al mondo fenomenico, dall'altro i risultati delle scienze fisiche e chimiche, che sarebbero inesplicabili se non si ammettessero agenti esterni semplici e forniti di speciali forme di attività, ci spingono verso una ipotesi monadologica intesa nel modo che abbiamo indicato. La teoria dei centri di forza inestesi e indivisibili risponde certo meglio dell'atomismo a queste esigenze; ma non un dinamismo come quello che si è avuto già due volte nella storia della scienza, perchè esso, riducendo ad una sola le forme di energia (la forza d'attrazione nel vecchio dinamismo, l'elettricità nelle moderne teorie elettroniche) cade nella difficoltà insormontabile di ricavare dall'omogeneo l'eterogeneo. Bisogna riconoscere forme di attività qualitativamente differenti ed agenti o monadi capaci di esplicare diversamente le varie forme di attività. L'organismo dell'universo nasce dall'azione reciproca ed armonica di elementi *funzionalmente* differenziati e possedenti diverso grado di sviluppo.

Ma non soltanto le energie fisiche sono qualitativamente differenti: esse sono anche ordinate in modo da formare una gerarchia. Le differenze qualitative tra le varie energie, infatti, si possono stabilire in base alla capacità che ciascuna possiede di determinare lo svolgimento di forme di energia differenti; ma non tutte hanno la capacità di dar luogo ad un ugual numero di cangiamenti: vi sono delle forme di energia - l'energia meccanica, l'energia elettrica, l'energia chimica - che contengono maggiori possibilità di cangiamento, ed altre - l'energia termica e l'energia luminosa - che ne contengono meno; vi sono delle energie superiori e delle energie inferiori; e le energie superiori contengono qualche cosa di nuovo rispetto a quelle inferiori, hanno possibilità di cangiamenti che le energie inferiori non posseggono. L'eterogeneità e la gerarchia che Emilio Boutroux ha affermato nei diverni piani della realtà intera, le scienze ce le mostrano nel seno stesso delle energie fisiche; l'ordine del mondo fisico non è l'ordine dell'omogeneità degli esseri e dell'uniformità dei processi, ma l'ordine della gerarchia di esseri eterogenei e dell'armonia di energie superiori ed energie inferiori.

E la fisica c'insegna anche dell'altro: c'insegna qual'è

la legge dei cangiamenti qualitativi, che è la legge implicita nel secondo principio della termodinamica, il principio dell'aumento di entropia e della degradazione dell'energia. L'irreversibilità, fenomeno generale della natura fisica, fa della serie dei cangiamenti un'evoluzione diretta nel senso dell'energia sempre più degradata. È questa una legge che non può essere dedotta da altro principio, non trova analogie in altre leggi e non può essere razionalizzata: ci si presenta coll'evidenza di un dato di fatto, e dimostra che l'ordine del mondo fisico non è l'ordine meccanico. Se volessimo esprimerci in termini metafisici, dovremmo dire che un elemento della realtà, quando ha svolto una determinata forma di attività, non può essere ricondotto nella situazione primitiva, sì da potere svolgere di nuovo interamente, e così all'infinito, la stessa forma di attività. Codesta legge inesplicabile per il meccanicismo, contraria ai suoi presupposti e ai suoi fini, non è invece per nulla urtante quando si concepiscano gli elementi della realtà come principî di quelle energie in cui prende consistenza il cangiamento qualitativo e quando si riconosca l'esistenza di un ordine gerarchico delle diverse energie.

Qui è opportuno osservare come il secondo principio della termodinamica, esteso a tutto il mondo fisico, metta fine a certe ipotesi metafisiche fondate sulla teoria meccanica, come l'ipotesi dell'eterno ritorno dell'identico. Se l'universo fosse formato di un numero determinato di elementi omogenei, che non si modificano durante i processi a cui vanno soggetti, il numero delle combinazioni possibili di questi elementi sarebbe per quanto grandissimo, limitato; ma siccome il tempo non ha limiti, dovrebbe giungersi ad un momento in cui le forze naturali, avendo esaurite tutte le combinazioni possibili ma conservando sempre inalterata la loro potenzialità, produrrebbero di nuovo una delle combinazioni già verificatesi, e quindi tornerebbe a svolgersi l'intero ciclo di fenomeni già svoltosi, e così all'infinito. La vita dell'universo sarebbe un'infinita ripetizione di cicli identici di fenomeni. Questo accadrebbe se l'universo fosse un sistema conservativo, se, prodotto un cangiamento, fosse possibile ricondurre il sistema nel suo punto iniziale senza che nulla fosse andato perduto. Questa ipotesi dell'« eterno ritorno dell'identico » si è presentata moltissime volte nel corso della storia della filosofia: sorta nel pensiero indiano, ebbe svolgimento in alcune dottrine greche e sistemazione nella filosofia stoica; e nella

filosofia moderna ricevè la sua più attraente esposizione artistica nel geniale insegnamento aforistico di Federico Nietzsche. Eppure, proprio al contrario di questa ipotesi, alla quale di necessità deve metter capo ogni forma di meccanicismo, i risultati più sicuri delle scienze moderne ci mostrano che la serie dei cangiamenti ha una direzione determinata verso un termine fisso; una forma di energia, dopo che si è attuata, non può essere riottenuta allo stato potenziale. Così, dal punto di vista qualitativo, che è il solo reale, non si dirà più che « nulla si perde » come un antico dogma fondato sulla concezione meccanica aveva affermato: l'evoluzione del mondo segue un corso determinato e tende ad un punto finale in cui, tutte le energie avendo raggiunta la forma più degradata, ogni cangiamento, per azioni naturali, sarà impossibile, perchè sarà impossibile il ritorno ad una forma superiore di energia: il potenziale termodinamico sarà uguale in ogni punto del mondo. L'evoluzione del mondo ha dunque un principio e un termine, non è indefinita come la concezione meccanica affermava.

Sappiamo che questo concetto si trova agli antipodi di una dottrina evoluzionistica assai diffusa, quella che concepisce l'evoluzione fisica come un passaggio dall'omogeneo all'eterogeneo: ma il secondo principio della termodinamica confuta quest'idea, che ebbe dallo Spencer il suo impulso e dimostra che l'evoluzione del mondo segue proprio la direzione opposta, muovendosi da una realtà primitivamente indifferenziata verso una condizione di equilibrio, verso uno stato di uniformità senza mutamento. La degradazione delle energie, che nel fenomeno della radioattività si manifesta in tutta la sua funzione disgregatrice degli elementi, spinge il moto dell'universo verso la quiete; il mondo nel suo complesso non assomiglia a un vortice rientrante, come un anello chiuso, eternamente in sè stesso, ma ad una immensa fiumana che con l'impeto travolgente delle sue onde si affretta verso la sua mèta.

Poichè in queste conclusioni ci limitiamo ad accennare alle ipotesi metafisiche verso cui ci guidano i risultati delle scienze, non possiamo sviluppare, come sarebbe utile, queste idee che richiederebbero ben più ampia trattazione di quel che sia possibile a questo punto. Qui aggiungiamo che, combinando la legge della degradazione delle energie col fatto che in ciascun elemento della realtà le energie s'incentrano in diverse maniere, si vede che ciò che caratterizza ciascun elemento della

realtà è la serie dei cangiamenti di cui è capace: ciò che individua ciascuna monade è la forma di evoluzione a cui può andar soggetta. Anche il LEIBNIZ diceva che « la loi du changement fait l'individualité de chaque substance particulière ». Concepire gli elementi ultimi della realtà come individualità, come degli elementi attivi nei quali si realizza il cangiamento, elementi qualitativamente diversi e caratterizzati dalle forme di attività che posseggono, dalla legge di evoluzione che attuano, ecco quanto al meccanicismo ripugnava e quanto ci può esser dato soltanto dalla nostra concezione monadologica. Inoltre gli elementi del mondo fisico si aggruppano in famiglie e queste hanno, come le specie organiche, il loro periodo di sviluppo e di trasformazione. Il mondo della natura inorganica è dunque fornito di caratteri che ne fanno, in certo modo, l'analogo, o più esattamente la preparazione del mondo della vita. Non ripetiamo qui quanto abbiamo già esposto in altre parti del nostro lavoro; qui solo ci interessa porre in rilievo come a queste conclusioni non siamo spinti soltanto da considerazioni teoriche, ma soprattutto dai risultati delle ricerce scientifiche ripensate con spirito filosofico.

Questo é quanto possiamo dire sulla natura della realtà esterna. Ma, come abbiamo già fatto notare, il mondo fenomenico è il mondo in cui si rivela per eccellenza l'interazione tra la realtà oggettiva e la realtà soggettiva; quindi il mondo fenomenico, come ci ha fornite indicazioni sulla natura della realtà esterna, così può fornirci indicazioni sulla natura del soggetto.

È appena necessario confutare ancora il materialismo, il quale, riducendo tutta la realtà ad atomi materiali ed inattivi, rende inesplicabile uno dei rapporti principali, anzi il rapporto fondamentale tra alcuni ed altri elementi della realtà: il rapporto conoscitivo. Se il rapporto stesso fosse un complesso di atomi materiali ed ogni azione degli oggetti sul soggetto un urto di alcuni atomi contro altri, come nascerebbero le qualità sensoriali? Le qualità sensoriali non sono un prodotto esteriore dell'azione reciproca di elementi materiali, ma sono le rappresentazioni che un soggetto fornito di coscienza ha di codeste azioni; altro è un processo fisico, altro è la rappresentazione che ne ha un soggetto. Come avvenga che certi atomi ne conoscano certi altri rimarrà sempre l'enigma insolubile di ogni materialismo. Senza attribuire al soggetto

conoscente un' attività propria, l' attività della coscienza, non si potrà mai spiegare il fatto della conoscenza. Oltre al carattere dell' attività richiamiamo l' attenzione sul carattere dell'unità assoluta. L' unità del soggetto è provata in due modi: anzitutto noi ci sentiamo centri di tutto il mondo delle nostre rappresentazioni: mentre compiamo atti percettivi differenti, sentiamo che è lo stesso io che li compie; tutti gli atti percettivi hanno dunque origine da un unico principio, la cui continuità, non ostanti le interruzioni a cui la vita cosciente va soggetta, è assicurata dal fatto della memoria. In secondo luogo l'attività riferente e giudicatrice dei dati della percezione non potrebbe esercitarsi se non fosse lo stesso individuo che, avendo presenti i varî dati percettivi, può paragonarli e fondarvi sopra i suoi giudizî. Che un essere caratterizzato dall' unità non possa essere esteso, è evidente, perchè se il soggetto fosse esteso i diversi atti psichici si distribuirebbero nelle sue parti e non s' incentrerebbero nell'unità di coscienza. Un essere inesteso, essenzialmente attivo, assolutamente uno, capace di coscienza e di riflessione è per definizione un essere di natura spirituale. Così, a non tener conto di tutte le funzioni psichiche superiori, la semplice funzione percettiva ci conduce ad affermare la realtà dello spirito individuale.

Rimanendo dunque sul terreno delle conoscenze ben assodate, dobbiamo riconoscere che l' ipotesi metafisica verso la quale ci spingono le scienze moderne è lo spiritualismo individualistico. Noi, che durante il corso del nostro lavoro abbiamo sempre cercato di astenerci dal fare ipotesi che non fossero sufficientemente fondate su dati sicuri, ci volgiamo ora con fiducia verso lo spiritualismo convinti che, allo stato attuale della cultura, sia l' ipotesi più saldamente fondata su risultati scientifici e più d'ogni altra atta a soddisfare le esigenze del nostro pensiero.